



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

# **ANALÝZA ZPOMALOVÁNÍ TRAMVAJÍ A VYHODNOCENÍ JEHO ÚCINKU NA STOJÍCÍ CESTUJÍCÍ**

ANALYSIS OF DECELERATION OF TRAMS AND EVALUATION OF ITS IMPACT ON STANDING  
PASSENGERS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. DAGMAR SKUPOVÁ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**DOC. ING. ALEŠ VÉMOLA, PH.D.**

**BRNO 2012**

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Dagmar Skupová

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Analýza zpomalování tramvají a vyhodnocení jeho účinků na stojící cestující**

v anglickém jazyce:

### **Analysis of Deceleration of Trams and Evaluation of its Impact on Standing Passengers**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce sestává ze tří částí. První, teoretická část bude zaměřena na technické parametry tramvají, zejména na brzdový systém. Ve druhé, praktické části budou provedena praktická měření působení zpomalení na cestující stojící ve vozidle a třetí část se bude zabývat analýzou zjištěných skutečností.

Cíle diplomové práce:

Cílem diplomové práce bude na základě naměřených hodnot zpomalení působícího na stojící cestující v tramvaji, stanovit mezní hodnotu zpomalení, kdy cestující udrží stabilitu. Mezní hodnoty zpomalení zjištěné měřením při různých dopravních situacích budou porovnány s interními informacemi a daty dopravních podniků. Popsán bude vliv mezní hodnoty zpomalení tramvaje na různé věkové kategorie cestujících.

Seznam odborné literatury:

Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 175/2000 Sb. ze dne 15. června 2000,  
o přepravním řádu pro veřejnou drážní a silniční osobní dopravu

Zákon č. 23/2000 Sb. Parlamentu České republiky , kterým se mění zákon č. 266/1994 Sb., o  
dráhách

ŠKAPA, Petr. Bezpečnost a zkoušení vozidel. vyd.1. Ostrava : Vysoká škola Báňská,  
Technická univerzita, 2005. 125 s. ISBN 80-248-0757-2.

Dynamika kolejových vozidel a železničních tratí : [sborník přednášek z] konf. společ. dopravy  
a spojů ČSVTS ... [aj.], Praha 1986. Praha : Dům techniky ČSVTS , 1986. 245 s.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 1.11.2011

L.S.

---

prof. Ing. Albert Bradáč, DrSc.  
ředitel vysokoškolského ústavu

### ***Abstrakt***

Diplomová práce je zaměřena na měření brzdného zpomalení tramvaje a zjištění jeho vlivu na stojící cestující. Práce sestává ze tří částí. První část je teoretická a zabývá se brzdovým systémem tramvaje. Druhá, experimentální část, popisuje způsob praktického měření brzdného zpomalení a třetí část práce je věnována diskuzi nad naměřenými hodnotami brzdných zpomalení. Cílem diplomové práce je určit mezní hodnotu zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu.

### ***Abstract***

The thesis is concerned with establishing the braking retardation and determining, of its influence for standing passengers. The thesis consists of three parts. The first part is theoretical and it is engaged in brake system of tramway. The second, experimental part talks about practical establishing of braking retardation. And the third part of thesis is given to discussion about established values of braking retardation. The aim of thesis is to find a value of braking retardation, when standing passenger don't fall down.

### ***Klíčová slova***

kolejové vozidlo městské hromadné dopravy, tramvaj, brzda, zpomalení

### ***Keywords***

tram vehicle for city mass transport, tramway, brake, retardation

***Bibliografická citace (vzor, generuje se v IS)***

SKUPOVÁ, D. *Analýza zpomalování tramvají a vyhodnocení jeho účinků na stojící cestující*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012. 62 s.  
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D..

***Prohlášení***

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

podpis diplomanta

### ***Poděkování***

Na tomto místě bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Aleši Vémolovi, Ph.D., za odborné vedení práce. Zvláštní poděkování patří panu Ing. Jiřímu Finstrle, za vstřícnost a ochotu podílet se na praktickém měření. Dále děkuji panu Ing. Vladimírovi Panáčkovi a panu Ing. Janu Petrásovi za odborné konzultace a panu Jiřímu Bartošovi za pomoc při grafickém zpracování.

# OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	ZÁKLADNÍ POJMY.....	12
3	MĚSTSKÁ HROMADNÁ DOPRAVA.....	12
4	TRAMVAJOVÁ DOPRAVA.....	13
5	VÝVOJ MĚSTSKÉ KOLEJOVÉ DOPRAVY .....	14
6	ADHEZE .....	16
6.1	Součinitel adheze.....	17
6.2	Vliv okolí na adhezi.....	17
7	VOZOVÝ PARK MĚSTA BRNA .....	19
8	CHARAKTERISTIKA VOZOVÉHO PARKU MĚSTA BRNA .....	20
8.1	ČKD T3 .....	20
8.2	ČKD T6A5 .....	21
8.3	VARIO LF.....	21
8.4	VV60LF (vlečný tramvajový vůz) .....	22
8.5	ČKD K2.....	23
8.6	VARIO LF2.....	23
8.7	ŠKODA 03T (ANITRA) .....	24
8.8	ŠKODA 13T .....	25
8.9	ČKD KT8D5 .....	26
8.10	ČKD K3R-N .....	26
8.11	ČKD RT6N1.....	27
9	TECHNICKÉ ASPEKTY .....	28
9.1	Elektrický pohon .....	28
9.2	Elektromotor (trakční motor).....	28
9.2.1	<i>Odporová regulace výkonu.....</i>	<i>28</i>
9.2.2	<i>Polovodičová regulace výkonu.....</i>	<i>29</i>



9.3	Rekuperace .....	29
9.4	Podvozky .....	30
9.4.1	<i>Podvozek ČKD</i> .....	30
9.4.2	<i>Podvozek KOMFORT</i> .....	31
9.4.3	<i>Podvozek typu ŠKODA</i> .....	32
9.4.4	<i>Ostatní - běžné podvozky</i> .....	33
9.5	Bezpečnost u tramvají .....	33
9.5.1	<i>Výhled z vozidla</i> .....	33
9.5.2	<i>Záchytné tyče</i> .....	34
9.5.3	<i>Držadla Handy</i> .....	34
9.5.4	<i>Bezpečnost v tramvaji z pohledu populace</i> .....	35
10	LEGISLATIVA A NORMY SOUVISEJÍCÍ SE ZKOUŠENÍM BRZD TRAMVAJE .....	38
11	DRUHY BRZD TRAMVAJE A JEJICH FUNKCE .....	39
11.1	Druhy režimů brzdění .....	39
11.2	Základní typy brzd tramvaje.....	40
11.2.1	<i>Brzda elektrodynamická</i> .....	40
11.2.2	<i>Brzda mechanická třecí – čelistová nebo kotoučová</i> .....	40
11.2.3	<i>Kolejnicová brzda</i> .....	40
12	BRZDOVÝ SYSTÉM TRAMVAJE LTM 10.08.1 (ANITRA).....	42
12.1	Mechanická brzda.....	42
12.1.1	<i>Provozní režimy mechanické brzdy</i> .....	42
12.1.2	<i>Popis systému mechanické brzdy</i> .....	44
12.2	Hydraulická brzda.....	44
12.3	Bezpečnostní smyčka, mrtvý muž .....	45
12.4	Výsledky zpomalení z brzdových zkoušek .....	45
13	PŘEDEPSANÉ HODNOTY MINIMÁLNÍHO STŘEDNÍHO BRZDNÉHO ZPOMALENÍ TRAMVAJE .....	47
14	METODIKA MĚŘENÍ BRZDNÉHO ZPOMALENÍ.....	48

14.1	Decelerometr .....	48
14.2	Decelerometr XL meter <sup>tm</sup> pro.....	48
14.3	Decelerograf .....	49
14.4	Vlečné kolo.....	49
15	REALIZACE MĚŘENÍ BRZDNÉHO ZPOMALENÍ TRAMVAJE.....	51
15.1	Metodika měření.....	51
15.2	Diskuze výsledků měření.....	52
15.3	Rozbor působících sil na stojícího cestujícího .....	54
	15.3.1 Cestující se drží madla ve výšce $h$ ; $h = 1,2\text{ m}$ .....	54
	15.3.2 Cestující se drží madla ve výšce $h$ ; $h = 2\text{ m}$ .....	55
16	ZÁVĚR.....	56
17	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	58
18	SEZNAM PŘÍLOH.....	62

# 1 ÚVOD

S rozvojem průmyslu a rozšiřováním měst bylo nezbytné zavedení přepravy osob. Vznikla potřeba vhodných dopravních prostředků pro hromadnou dopravu osob. Městská hromadná doprava za více než půldruhého století prošla složitým vývojem od koňského pohonu přes parní stroje až ke klasické elektrické trakci. Elektrická trakce je základem pohonu kolejových vozidel, mezi které patří i tramvaje. Zaměření této diplomové práce je právě na tramvaje. Teoretická část práce je směřována ke studiu technických parametrů tramvají se zaměřením na jejich brzdový systém. S brzdovým systémem tramvají je spojena řada legislativy. Je třeba uvést vyhlášku ministerstva dopravy a spojů, č. 175/2000 Sb., o přepravním řádu pro silniční dopravu osob. Právě ta zabezpečuje přepravní podmínky a zahrnuje mj. povinnosti cestujících.

Cílem diplomové práce je stanovit mezní hodnotu zpomalení, kdy stojící cestující v tramvaji udrží stabilitu. Tato mezní hodnota zpomalení bude zjišťována měřením níže definovanými měřicími přístroji. Konkrétně bude využit decelerometr XL meter a metoda vlečného kola. Měření proběhne za asistence zaměstnanců Dopravního podniku města Brna (DPMB) ve vozovně Pisárky. Cestujícími budou figuranti. Popsán bude vliv mezní hodnoty zpomalení tramvaje na různé věkové kategorie cestujících. Navíc bude měřeno mezní zpomalení působící na kočárek s panenkou a bude pozorováno jeho udržení stability rovněž jako u cestujících. Při měření bude pořízen videozáznam, který bude sloužit pro interní účely Dopravního podniku města Brna a do budoucna bude použit jako „výchovní materiál“. Měření mezního zpomalení, při kterém udrží stabilitu kočárek s dítětem (v tomto případě s panenkou) bude proveden z toho důvodu, aby se cestujícím ujasnilo, v jaké poloze má být kočárek v dopravním prostředku správně umístěn.

Třetí část práce se bude zabývat analýzou zjištěných skutečností a porovnáním výsledků jednotlivých způsobů měření.

## 2 ZÁKLADNÍ POJMY

- zpomalení je výsledek působení sil proti směru pohybu
- brzdění je činnost, kterou je vyvolána síla působící proti pohybu vlaku nebo která zabraňuje pohybu stojícího vlaku
- brzda je zařízení, jehož základní funkcí je realizace brzdění
- brzdový systém je soubor prostředků (hardware a software) pro splnění požadavků na brzdění vlaku při definovaném stupni bezpečnosti
- adheze je fyzikální jev ve vzájemném dotyku mezi kolem a kolejnicí [29] [30].

## 3 MĚSTSKÁ HROMADNÁ DOPRAVA

Městská hromadná doprava je označována jako systém linek osobní veřejné dopravy určený k zajišťování dopravní obsluhy na území města hromadnými dopravními prostředky. Města jsou obvykle vybavena integrovaným dopravním systémem, který zaopatřuje dopravní obslužnost na území města a jeho blízkého okolí. Platí v něm jednotné přepravní a tarifní podmínky a provoz linek městské hromadné dopravy je jednotným způsobem dotován městem. Součástí městské hromadné dopravy však mohou být i linky, které nejsou součástí takového integrovaného systému a mají vlastní, odlišné podmínky nebo nejsou dotované městem [28].

Konkrétní systém městské hromadné dopravy může zahrnovat autobusovou, tramvajovou a trolejbusovou dopravu. Ve městech osídlených více než milionem obyvatel se zpravidla uplatňují i jiné způsoby městské hromadné dopravy, například metro či městská nebo příměstská železnice. V ojedinělých případech se uplatňují i lanové dráhy nebo formy vodní dopravy [11].

Charakteristickými znaky městské hromadné dopravy je celodenní provoz jejích linek s pravidelnými časovými sledy vozů na pevně určených tratích. Vzhledem k hospodárnosti provozu má odpovídat nabídka míst v dopravních prostředcích přepravní poptávce, tj. požadavkům obyvatelstva [5] [17].

## 4 TRAMVAJOVÁ DOPRAVA

Jde o druh kolejové dopravy, používaný v městské hromadné dopravě (MHD). V současnosti mají tramvaje převážně elektrický pohon, přičemž proud odebírají z trolejového vedení pomocí pantografového sběrače.

Od železniční dopravy se tramvajová doprava liší zpravidla tím, že je častěji vedena po komunikacích (zpravidla v ulicích města), menšími vzdálenostmi mezi zastávkami, lehčími vozidly, kratší maximální délkou vlaků, kratšími intervaly, jiným způsobem řízení provozu a odlišným legislativním rámcem. [22].

Velkou výhodou tramvají oproti autobusům, případně trolejbusům je větší přepravní kapacita. Dalšími výhodami jsou větší setrvačnost a menší jízdní odpor, oproti dieselovému pohonu není znečištění emisemi spalování v místě provozu. [1] [19].

Značnou nevýhodou kolejového vozidla je jeho obtížná manévrovatelnost, omezená předem danou jízdní dráhou. Nelze se vyhnout překážce, je omezená možnost odklonů a objížděk. Značné je vyšší riziko střetu s vozidly, chodci a překážkami kvůli nemožnosti vyhnout se a delší brzdné dráze, která je důsledkem větší hmotnosti, setrvačnosti vozidla a adhezních schopností kolejového vozidla. U kolejových vozidel, stejně jako u vozidel silničních hrozí smyk a skluz. To je dáno vzájemným kontaktem stejných materiálů, které tvoří kolo a kolejnici. Pro zlepšení adhezních vlastností se používá písek, který se v určitých dávkách sype mezi kontaktní plochy, kolo – kolejnice. Pískování však negativně působí na životní prostředí vyšší prašností. Stavby v blízkosti kolejové dráhy jsou vystavovány vibracím a hlučností. Vozidlo je závislé na trakci, v případě výpadku napájení dochází k zastavení provozu. Trolejové vedení má z hlediska estetiky negativní vliv na životní prostředí [7] [13].

## 5 VÝVOJ MĚSTSKÉ KOLEJOVÉ DOPRAVY

Počátky městské osobní tramvajové dopravy spadají do první poloviny 19. století. Městská hromadná doprava prošla složitým vývojem od koňského pohonu přes parní stroje až ke klasické elektrické trakci. Stranou nezůstaly ani spalovací motory. Prvním dopravním prostředkem sloužícím veřejné hromadné dopravě osob ve městě se stal omnibus. Šlo o obyčejný dostavník upravený pro podmínky městské dopravy. První omnibusy byly zavedeny již v roce 1819 v Paříži, v Praze nalezly uplatnění až v roce 1862 [1] [5] [6].

Roku 1832 byla v New Yorku Johnem Stephensonem postavena první městská kolejová pouliční dráha, jejíž vozy byly taženy koňmi, ale během dvou let zanikla. Městská hromadná doprava byla v Brně zahájena v srpnu 1869, zprovozněním první koněspřežné dráhy na našem území. Ze šesti vozů fungujících na počátku se doprava znatelně rozrostla. V roce 1870 bylo již v provozu 57 vozů, jezdících na čtyřech tratích pro dopravu osob a jedné nákladní vlečce. Součástí této sítě byly tři vozovny. Provoz koněspřežné dráhy byl ale roku 1881 z důvodu nerentability zastaven [4].

V roce 1884 byla založena akciová společnost „Brünner Damf - Tramway” (Brněnská parní tramvaj), která dne 24. května 1884 zahájila na trati Pisárky - Královo Pole provoz parní pouliční dráhy. Do provozu bylo uvedeno postupně 15 lokomotiv a 31 vlečných vozů. O dva roky později byla založena nová společnost pod názvem „Brünner Local Eisenbahn Gesellschaft” (Brněnská místní železniční společnost). Parní provoz nezankl ani po elektrizaci provozu osobní dopravy. Počet parních lokomotiv se pouze snížil. Poslední parní lokomotiva „Caroline” (dnes exponát Technického muzea v Brně) rozvážela železniční nákladní vozy ulicemi města až do února 1926. Tím skončila první etapa parního provozu na kolejích brněnské pouliční dopravy. Druhá etapa parního provozu nastala až ve čtyřicátých letech po připojení místní dráhy Brno - Líšeň ke Společnosti brněnských elektrických pouličních drah. [15].

V roce 1900 započala v Brně rakouská společnost „Österreichische Union Elektrizitäts Gesellschaft” s výstavbou a provozem pouliční dráhy s elektrickým pohonem. Ještě v roce 1900 byla ustavena akciová společnost s účastí města Brna „Gesellschaft der Brünner elektrischen Strassenbahnen” (Společnost brněnských elektrických pouličních drah).

Tato společnost je přímým předchůdcem dnešního dopravního podniku. Provoz byl zahájen 21. června 1900 na upravených tratích parní dráhy. Po vybudování dalších tratí bylo

koncem roku 1903 v provozu pět linek, které byly rozlišeny pomocí barevných terčů. Vozový park tvořilo 41 motorových a 12 vlečných vozů, vyrobených ve Štýrském Hradci a postupně upravených 29 vlečných vozů z období koňské a parní dráhy. Prvními vozy domácí výroby bylo 7 motorových vozů od brněnské firmy Lederer - Porges (pozdější Královopolská strojírna) dodaných v letech 1903 - 1904. Pro elektrický provoz byla přebudována stará vozovna v Pisárkách a vystavěna nová v Králově Poli (nyní slouží jako budova měnárny).

Válečná léta se podepsala na zhoršení technického stavu jak tratí, tak i vozidel. Proto musely po ukončení války nové správní orgány v Brně zahájit obnovu tratí a vozidel, která byla ukončena v roce 1920. Dvacátá a třicátá léta byla ve znamení bouřlivého rozvoje kolejové elektrické dráhy a s tím souvisejících změn a rozšiřování tramvajových linek. Tratě se postupně prodlužovaly do předměstí, která byla připojena k Brnu. S prodlužováním tratí souvisely i rozsáhlé dodávky nových motorových vozů, pro které byla v roce 1926 vybudována nová vozovna v Husovicích. S rozvojem dopravy rostly i nároky na trakční napájecí síť [2].

Původní akciová společnost provozující městskou hromadnou dopravu byla koncem 40. let nahrazena komunálním podnikem, který od roku 1951 dostal dnešní název Dopravní podnik města Brna. V 50. a 60. docházelo především k modernizaci vozového parku, tratí a technických zařízení. Byla zavedeny čtyřnápravové tramvaje řady T z ČKD Praha [9] [10].

Provozováním výkonnějších trakčních vozidel značně vzrostly nároky na trakční napájecí soustavu. Na přelomu 80. a 90. let se začala projevovat provozní stagnace systému. Prudký růst individuálního motorismu vystavil hromadnou dopravu ostré konfrontaci. Proto bylo vedením města přijato rozhodnutí o organizační změně systému hromadné dopravy jako opatření

s dočasnou účinností do konečného vyřešení zkapacitnění především kolejového systému. K realizaci nového systému došlo v roce 1995. Změna organizace provozu městské hromadné dopravy byla jednoznačně vyvolána potřebou zefektivnění jejího provozu. Při přípravě i vlastní realizaci byl kladen důraz na maximální využití tramvajové a trolejbusové trakce a omezení souběžných autobusových linek, na ekologickou situaci středu města a dalších významných lokalit a na zjednodušení tramvajové sítě a zkrácení intervalu mezi následujícími soupravami [10] [17].

## 6 ADHEZE

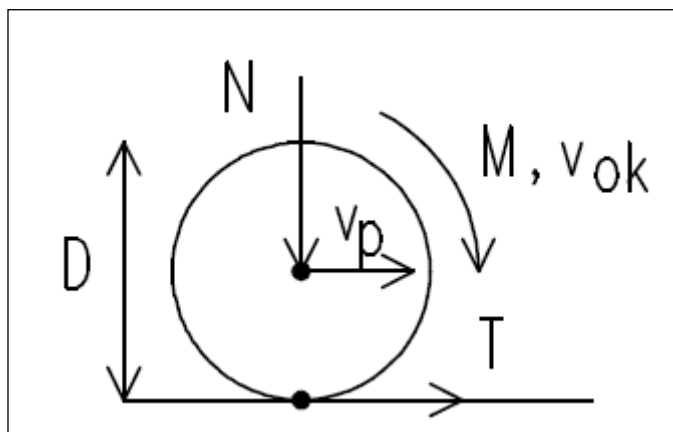
Adhezi rozumíme fyzikální vlastnost schopnosti přenášet tečnou sílu v dotykové plošce kola a kolejnice. Z tohoto hlediska většina dnešních kolejových vozidel pracuje na adhezním principu.

Obecně lze adhezi nazvat schopností vozidla přenést na jízdní dráhu tečnou sílu. Tato schopnost je základem pohybu převážné většiny kolejových (i silničních) vozidel, umožňuje vyvíjet tažné i brzdné síly a její rozbor má tedy nepochybně zásadní význam v mnoha ohledech. Zároveň tato závislost pohonu vozidel na adhezi je snad nejdůležitějším rozdílem mezi pohonem v průmyslu a v trakci. Za prokluz je označována situace, kdy se při růstu tažné síly nebo zhoršení adhezních poměrů začne rychle zvětšovat obvodová rychlost poháněných kol vzhledem k podélné rychlosti vozidla. Mez toto zrychlování je závislá na uspořádání a řízení pohonu, ale bez dalších opatření leží většinou daleko nad přijatelnými hodnotami. To vede k mimořádnému mechanickému namáhání všech členů, které se podílejí na přenosu momentu a případně k přetáčkám trakčních motorů. Důsledkem je též opotřebení kol i kolejnic, vzniku rázů v soupravě při rychlých změnách tažné nebo brzdné síly, pokles tažné síly vozidla na kratší nebo i delší dobu, prodloužení jízdních dob a v krajním případě k uvážnutí soupravy (ve stoupání, obloucích za zvláště nepříznivých poměrů). [12] [32]

Smykem je označován jev při brzdění, kdy obvodová rychlost kola je (výrazně) menší než podélná rychlost vozidla. V krajním případě je i nulová, takže kolo se po kolejnici smýká a neotáčí se. Důsledky jsou podobné jako při skluzu, ale s tím rozdílem, že opotřebení obručí má charakter ploch, kola pak při jízdě vydávají charakteristický zvuk (vozidlo „dupe“). Dále dochází k poklesu střední brzdné síly a prodlužuje se zábrzdna vzdálenost, což představuje evidentní ohrožení bezpečnosti dopravy. [16] [22].



## 6.1 SOUČINITEL ADHEZE



*Obr. 1 Adhezní poměr [22]*

Adheze je kvantitativně popisována součinitelem adheze  $\mu$ , který vyjadřuje podíl mezi velikostí skutečné mezní, maximálně dosažitelné tečné síly  $T$  [N] (tažné nebo brzdné) a skutečné svislé normálové síly  $N$  [N] (adhezní poměr).

$$\mu \leq \frac{T}{N} \quad [22][32]$$

Součinitel adheze  $\mu$  je bezrozměrný koeficient.

## 6.2 VLIV OKOLÍ NA ADHEZI

Adhezi ovlivňují pouze vlivy působícími v kontaktní ploše, uplatňují se zejména tyto:

- přítomnost cizích látek ve styku kolo - kolejnice
- působení tepla, které se ve styku kola a kolejnice při skluzu vyvíjí
- drsnost stykových ploch
- tvar dotykové plochy
- příčné skluzu

Největší vliv mají cizí látky ve styku kolo - kolejnice. Jedná se především o vodu (vlhkost), olej (od mazání okolků, výměn, netěsnosti převodovek), listí, rez, prach nebo například písek (úmyslně). Voda, vodní roztoky a emulze („bláto“), mastnota atd. působí jako dobré mazivo. Jeho „mazací účinky“ závisí na jeho viskozitě a na síle vrstvy „maziva“.

Síla této vrstvy (řádově  $\mu\text{m}$ ) závisí na specifickém tlaku ve styku a na rychlosti odvalování. Na výsledný efekt pak má rozhodující vliv poměr tloušťky této vrstvy „maziva“ k velikosti nerovností povrchů ve styku (drsnoti), protože určují míru přechodu mezi suchým a kluzným (kapalinovým) třením. Vliv nečistot na adhezi je rozhodující a obtížně definovatelný (například spadané listí). Pro zvýšení koeficientu adheze je již odedávna používáno sypání písku pod kola. Písek vytvoří ve styku vrstvu dostatečně silnou na to, aby vyloučila vliv „mazání“ a prakticky téměř obnovila poměry na suché koleji (ovšem za cenu zvýšení jízdních odporů). Jak již bylo uvedeno výše, vzniká při relativním pohybu v zatíženém styku teplo, které ohřívá kolo, kolejnici a také vrstvu nečistot mezi nimi. Toto teplo roste s rostoucí skluzovou rychlostí. Nejprve se oteplováním zvyšuje viskozita kapalin ve styku kolo-kolejnice, při rostoucím výkonu se voda odpařuje, olej se rozkládá a zároveň dochází při vzájemném pohybu k zdrsnění obou povrchů. Všechny tyto procesy adhezi zlepšují tím více, čím horší byl původní stav (na čistém a suché povrchu není co odpařovat nebo čistit). Tyto efekty se označují jako „čisticí efekt“ (Konditionierung). Při velkých prokluzech může teplota dosáhnout i několika set  $^{\circ}\text{C}$ , při kterých se výrazně snižuje napětí na mezi skluzu. Dále se snižuje skluzová pevnost  $\tau_{\text{max}}$  i koeficient adheze a roste opotřebení [16] [22].

## 7 VOZOVÝ PARK MĚSTA BRNA

Brno je městem s nejrozmanitějším vozovým parkem tramvají v České republice. K 12. lednu 2012 bylo k dispozici 313 tramvají určených pro pravidelný osobní provoz. Jako služební je používáno několik vozů T3 [40].

V osobním provozu města Brna se vyskytují následující typy tramvají (údaje jsou platné k datu 12.1. 2012.

Typ vozu	Počet	Vozovna Medlánky	Vozovna Pisárky
<b>T3</b>	8	3	5
T3M	19	18	1
T3G	38	0	38
T3T	2	0	2
T3R	11	1	10
T3RF	2	0	2
T3P	14	0	14
T3R.PV	10	0	10
T3R.EV	4	4	0
Vario LFR.E	7	7	0
<b>T6A5</b>	20	20	0
<b>VV60LF</b>	4	4	0
<b>K2</b>	7	0	7
K2MM	21	0	21
K2R	7	0	7
K2R03	7	0	7
K2R03-P	3	0	3
K2T	4	0	4
K2P	23	17	6
Vario LF2R.E	11	0	11
<b>ANITRA</b>	17	0	17
<b>KT8D5</b>	4	4	0
KT8D5N	7	7	0
KT8D5R.N2	27	27	0
<b>K3R-N</b>	4	4	0
<b>RT6N1</b>	3	3	0
<b>13T</b>	19	19	0
13T5	10	10	0
<b>Celkem</b>	<b>313</b>	<b>148</b>	<b>165</b>

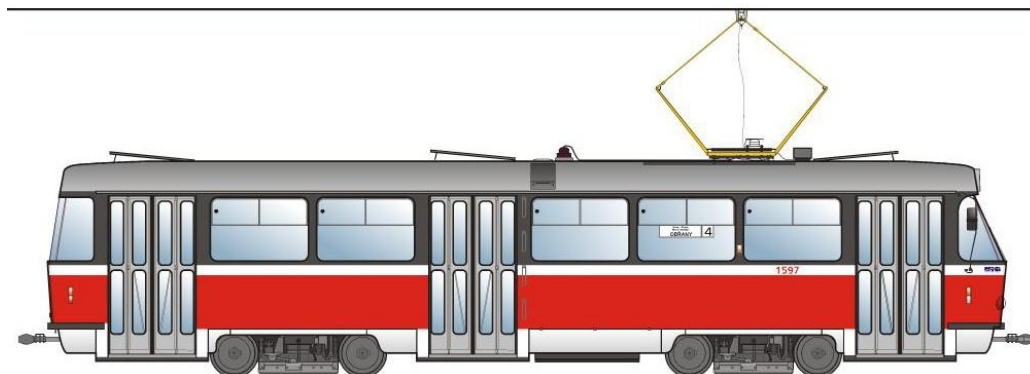
*Tab. 1 Vozový park Brno [40]*

## 8 CHARAKTERISTIKA VOZOVÉHO PARKU MĚSTA BRNA

### 8.1 ČKD T3

Tramvaj typu T3 je nejrozšířenějším typem tramvaje v České republice. T3 je v podstatě synonymum slova tramvaj i ve světě. Jde o produkt podniku Tatra Smíchov. První tramvaj tohoto typu dorazila do Brna v roce 1963. Dodávky těchto tramvají byly ukončeny v roce 1989. Do světa bylo prodáno přibližně 14 000 kusů. Po dobu výroby, ale především i posléze tramvaje prošly mnoha úpravami, opravami, rekonstrukcemi či modernizacemi. Je tedy patrné, že tramvaje jsou provozovány v mnoha modifikacích. T3 jsou nejpočetnějším typem provozovaným u DPMB. Vozy jsou provozovány samostatně i v soupravách.

T3 je jednosměrná čtyřnápravová tramvaj. Dveře jsou umístěny na pravé bočnici a často jsou otevíratelné na "poptávkové otvírání dveří". Zvláštností některých vozů je, že jsou určeny pouze pro jízdu jako B vůz (zadní vůz soupravy). Jejich kabina je tak ochuzena o některé prvky nezbytné pro běžný provoz. Jde například o palubní počítač či přední transparent. [26].



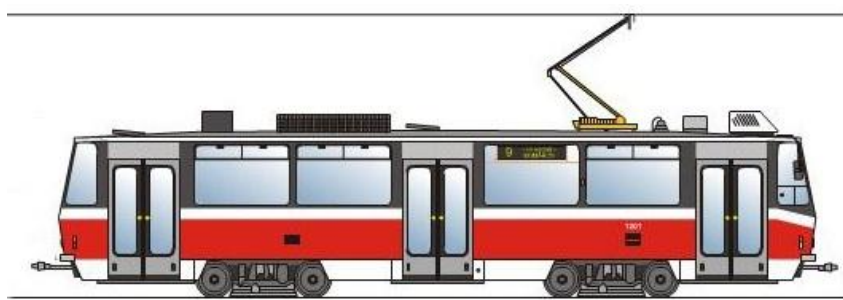
**Obr. 2** Tramvaj ČKD T3 [14]

Délka	15 104 mm
Šířka	2 500 mm
Hmotnost	16 000 kg
Obsaditelnost	110 osob
Výkon	4 x 40 kW
Rychlost	65 km/h

**Tab.2** Parametry tramvaje ČKD T3 [20]

## 8.2 ČKD T6A5

Vozy T6A5 jsou dalším výrobkem podniku ČKD Praha. Vozy T6A5 byly dodány do Brna v roce 1996. Dodáno bylo 20 vozů. Vozy jsou označeny čísly 1201-1220. Vozy jsou provozovány výhradně v soupravách už od dodání. Vůz je vybaven výklopnými dveřmi, ručním řadičem, polopantografem Stemmann otočeným vzad.



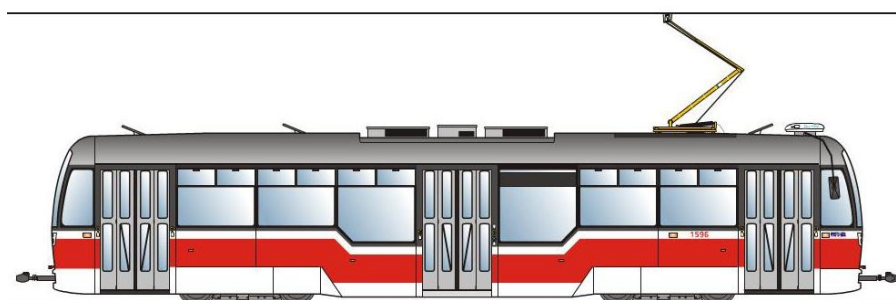
*Obr.3 Tramvaj ČKD T6A5 [39]*

Délka	15 640 mm
Šířka	2 500 mm
Hmotnost	19 500 kg
Obsaditelnost	117 osob
Výkon	4 x 47 kW
Rychlost	65 km/h

*Tab.3 Parametry tramvaje ČKD T6A5 [13]*

## 8.3 VARIO LF

Vario LF vychází z modelu klasické tramvaje (T3). Střední část vozu je nově nízkopodlažní. Vozy jsou opatřeny polopantografem. Interiér i stanoviště řidiče je ve stylu posledních zmodernizovaných tramvají T3 [14].



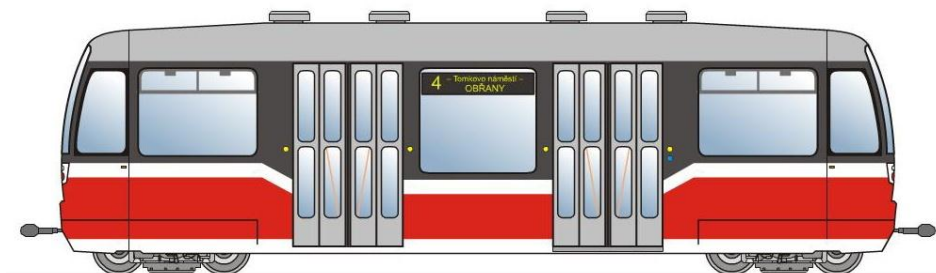
*Obr. 4 Tramvaj VARIO LF [39]*

Délka	15 100 mm
Šířka	2 480 mm
Hmotnost	21 200 kg
Obsaditelnost	116 osob
Výkon	4 x 90 kW
Rychlost	65 km/h

**Tab. 4** Parametry tramvaje VARIO LF [46]

## 8.4 VV60LF (VLEČNÝ TRAMVAJOVÝ VŮZ)

Jedná se o jednosměrný čtyřnápravový běžný (vlečný) tramvajový vůz. Typové označení VV60LF odkazuje na fakt, že je částečně nízkopodlažní (vlečný vůz se 60% nízké podlahy – anglicky low floor) – podlaha má ve výši 350 mm nad temenem kolejnice. V pravé bočnici se nacházejí dvojce dveře. Vlečný vůz je určen pro provoz v soupravě s tramvají T3R.EV nebo Vario LF [14].



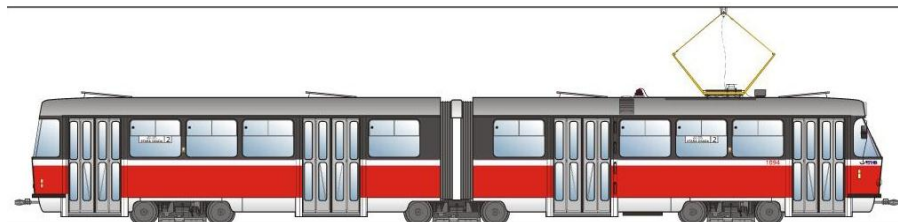
**Obr. 5** Vlečný tramvajový vůz VV60LF [20]

Délka	10 980 mm
Šířka	2 500 mm
Hmotnost	9 800 kg
Obsaditelnost	78 osob
Výkon	- kW
Rychlost	70 km/h

**Tab. 5** Parametry vlečného tramvajového vozu VV60LF [12] [46]

## 8.5 ČKD K2

Dvoučlánková tramvaj, vyráběná firmou ČKD Tatra Smíchov byla dodávána v letech 1967-1983. Jde o šestnápravový motorový tramvajový vůz. Krajní podvozky jsou hnané a střední podvozek je nehnaný (tzv. běžný). Některé K2 byly modernizovány nebo zrekonstruovány např. na K2R, K2P, K2T, ...



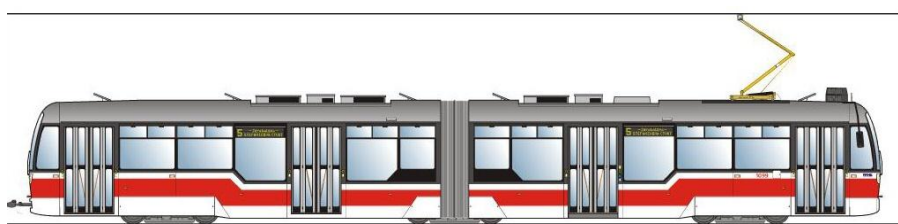
*Obr.6 Tramvaj ČKD K2 [20]*

Délka	21 504 mm
Šířka	2 500 mm
Hmotnost	21 800 kg
Obsaditelnost	157 osob
Výkon	4 x 40 kW
Rychlost	60 km/h

*Tab. 6 Parametry tramvaje ČKD K2 [6] [20]*

## 8.6 VARIO LF2

Jedná se o jednosměrný, šestnápravový motorový tramvajový vůz. Vario LF2 se skládá ze dvou částí, které jsou navzájem spojeny kloubem. V pravé bočnici se nachází čtyři dvoukřídlé výklopné dveře pro cestující. Krajní dveře vedou do vysokopodlažní části vozu. Nízkopodlažní část, o výšce 350 mm nad temenem kolejnice, se nachází v prostoru za oběma středními dveřmi a tvoří 43 % celkové plochy tramvaje. V kloubu (nad středním podvozkem) je podlaha ve výši 860 mm nad temenem kolejnice[48].



*Obr. 7 Tramvaj VARIO LF2 [20]*

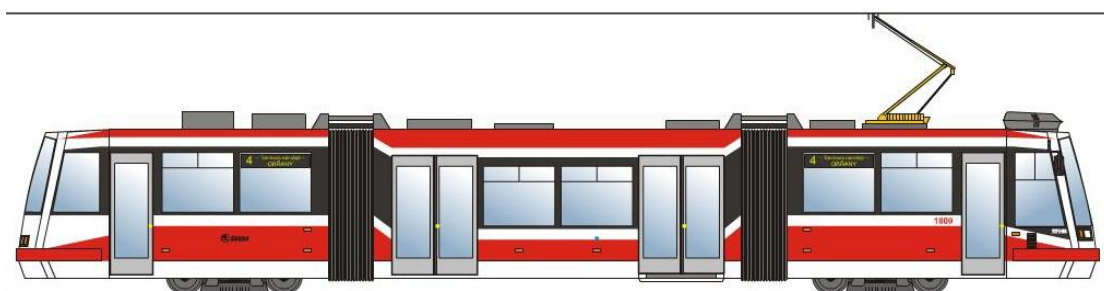
Délka	22 600 mm
Šířka	2 480 mm
Hmotnost	31 500 kg
Obsaditelnost	140 osob
Výkon	6 x 90 kW
Rychlost	65 km/h

**Tab. 7** Parametry tramvaje VARIO LF2 [20]

## 8.7 ŠKODA 03T (ANITRA)

Tříčlanková částečně nízkopodlažní tramvaj 03T (známá spíše pod názvem Anitra). Tuto tramvaj vyrobila plzeňská firma ŠKODA Transportation.

Byla dodávána v letech 2003-2006. Všechny vozy tohoto typu jsou zařazeny do vozovny Pisárky. Je to jednosměrný čtyřnápravový motorový vůz skládající se ze tří článků. V pravé bočnici jsou umístěny 4 dveře (v prostředním článku dvoje dvoukřídlé, v krajních člancích vždy jedny jednokřídlé). Střední článek je pověšen mezi krajní. Je to jediný nízkopodlažní prostor tvořící 50 % celé tramvaje a je umístěn ve výšce 350 mm nad temenem kolejnice. V tomto článku je prostor pro kočárky (popř. invalidní vozíky), pod dveřmi je umístěna vysouvací plošina. Krajní články jsou ve výšce 780 mm nad temenem kolejnice[21].



**Obr. 8** Tramvaj ŠKODA 03T (ANITRA) [20]

Délka	20 090 mm
Šířka	2 460 mm
Hmotnost	24 200 kg
Obsaditelnost	155 osob
Výkon	4 x 90 kW
Rychlost	70 km/h

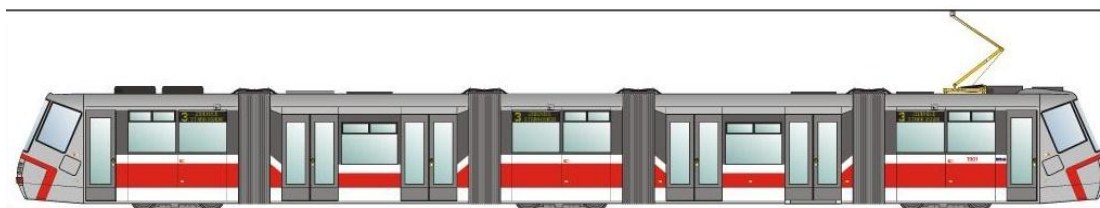
**Tab. 8** Parametry tramvaje ŠKODA 03T (ANITRA) [39] [46]



## 8.8 ŠKODA 13T

Vozy 13T ze Škody Plzeň jsou do Brna dodávány od roku 2007. Škoda 13T je jednosměrný, šestinápravový motorový a částečně nízkopodlažní tramvajový vůz. Skládá se z pěti článků, které jsou navzájem spojeny klouby a krycími měchy.

Od počátku dodávek jsou všechny vozy deponovány ve vozovně Medlánky. V každém lichém článku tramvaje jsou sedadla uspořádány proti sobě, což je další slabé místo tramvaje. Kabina řidiče je velice prostorná a pult je řešen tak, aby co nejvíce vyhovoval potřebám řidiče. Vůz je vybaven ručním řadičem Alfa Union. Diagnostický systém vozu je na vysoké úrovni a tak má řidič přehled nejen o poruchách a důležitých informacích jako je tah motorů, rychlost atd. ale může si nastavit i tempomat. Vůz je schopen rozpoznat maximální průjezdnou rychlost obloukem. Je vybaven čidlem natočení článku, což je v obloucích využíváno k regulaci průjezdové rychlosti. To umožní bezpečný průjezd obloukem. Tramvaj disponuje kamerovým systémem, který má kamery nejen uvnitř, ale i venku. Řidič tak má lepší přehled o dění ve voze i mimo vůz. Brněnské 13T jsou od pražských 14T odlišné pouze tím, že jsou všechny dveře určeny pro cestující. [36]. [46].



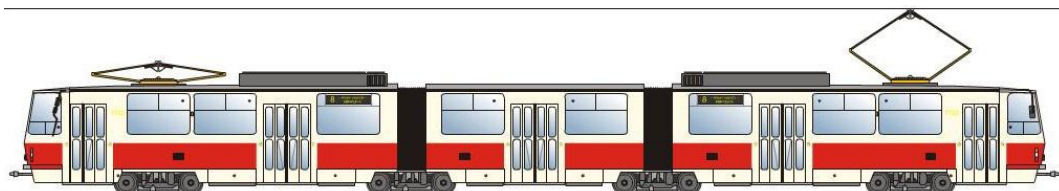
**Obr. 9** Tramvaj ŠKODA 13T [36]

Délka	31 060 mm
Šířka	2 460 mm
Hmotnost	41 200 kg
Obsaditelnost	194 osob
Výkon	6 x 90 kW
Rychlost	70 km/h

**Tab. 9** Parametry tramvaje ŠKODA 13T [36]

## 8.9 ČKD KT8D5

Tatra KT8D5 je obousměrný osmi-nápravový motorový tramvajový vůz, přičemž všech osm náprav je hnacích. Oba vnitřní podvozky jsou uloženy pod klouby, takže středový článek není nesený. Podlaha je protiskluzová z vodovzdorné překližky ve výšce 900 mm nad temenem kolejnice (v nízkopodlažní části). Na každé straně vozu je pět dveří. Krajní jsou tříkřídle a střední jsou čtyřkřídle.



*Obr. 10 Tramvaj ČKD KT8D5 [20]*

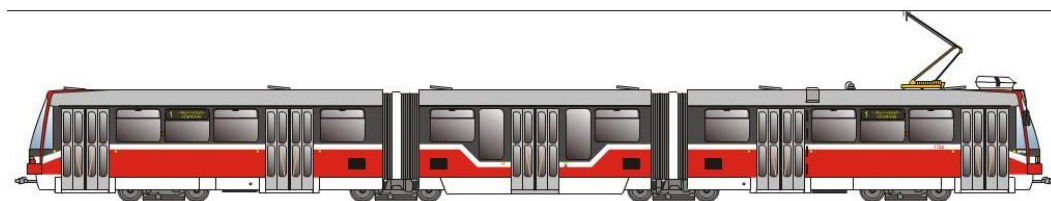
Délka	31 240 mm
Šířka	2 480 mm
Hmotnost	38 000 kg
Obsaditelnost	231 osob
Výkon	8 x 45 kW
Rychlost	65 km/h

*Tab. 10 Parametry tramvaje ČKD KT8D5 [20] [46]*

## 8.10 ČKD K3R-N

Jde o tříčlánkovou, částečně nízkopodlažní tramvaj. Vznikla modernizací (včetně doplnění středního článku) tramvaje K2.

Modernizované vozy prošly generální opravou původních článků a podvozků. Mezi původní články byl dosazen článek třetí, nízkopodlažní, s výsuvnou nájezdovou plošinou a místy pro kočárky a invalidní vozíky. Na levé straně středního článku (naproti dveřím) se nachází široké dveře nouzového východu, které mohou využít i osoby na invalidním vozíku. [37].



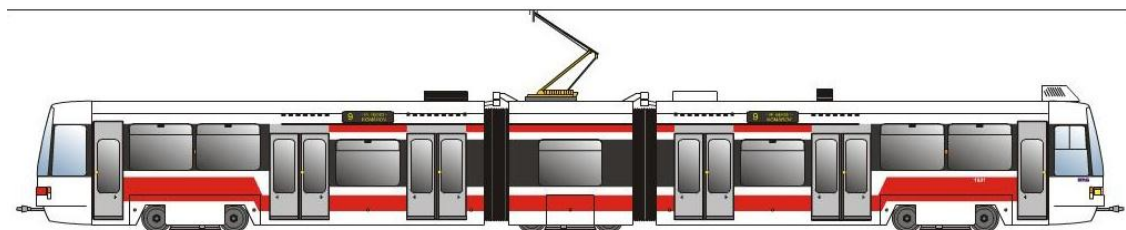
*Obr. 11 Tramvaj ČKD K3R-N [39]*

Délka	28 520 mm
Šířka	2 500 mm
Hmotnost	36 200 kg
Obsaditelnost	196 osob
Výkon	8 x 40 kW
Rychlost	65 km/h

**Tab. 11** Parametry tramvaje ČKD K3R-N [25].

## 8.11 ČKD RT6N1

RT6N1 je tříčlánková, jednosměrná, částečně nízkopodlažní tramvaj. V roce 1997 byly dodány 4 vozy. Tramvaj byla vyrobena ve firmě ČKD Tatra. Původně byly tramvaje značně poruchové, ale DPMB dokázalo tři z nich zprovoznit. Krajiní podvozky jsou hnané a prostřední je nehnáný (běžný). Pantograf tramvaje je nezvykle umístěn na prostředním článku. Nízkopodlažní část tvoří 63 % délky tramvaje a je ve výši 350 mm nad temenem kolejnice. Vyvýšená část je pak ve výši 900 mm nad temenem kolejnice [38]:.



**Obr. 12** Tramvaj ČKD RT6N1 [39]

Délka	27 600 mm
Šířka	2 440 mm
Hmotnost	32 850 kg
Obsaditelnost	215 osob
Výkon	4 x 104 kW
Rychlost	80 km/h

**Tab. 12** Parametry tramvaje ČKD RT6N1 [38]

## **9 TECHNICKÉ ASPEKTY**

### **9.1 ELEKTRICKÝ POHON**

Zahrnuje soubor všech technických prostředků zajišťujících pohon nějakého strojního mechanismu za pomoci elektrické energie, zpravidla za pomoci elektromotoru. Ten pak obvykle tvoří základní část elektrického pohonu. Dalšími prvky elektrického pohonu jsou pak napájecí, regulační, ovládací - řídicí, signalizační zařízení a další prvky, které prakticky zajišťují požadované parametry přeměny elektrické energie dodávané z vnějšího prostředí (např. z napájecí elektrorozvodné sítě, z baterie apod.) na mechanickou energii požadovaných parametrů. Součástí pohonu tedy bývá i celá řada dalších elektrických strojů, přístrojů či jiných specializovaných zařízení (např. řízeny usměrňovač elektrického proudu, měřicí přístroje, signalizační prvky, vypínače proudu, motorové jističe, různé regulační mechanismy včetně ovládacího počítače atd.). S běžnými elektrickými pohony se velmi často setkáváme např. u kolejových železničních vozidel, tramvají, trolejbusů a mnoha dalších strojních mechanismů. Elektrický pohon pak zpravidla tvoří podstatnou část elektrického vybavení příslušného stroje. [3] [7] [45].

### **9.2 ELEKTROMOTOR (TRAKČNÍ MOTOR)**

Jde o elektrický točivý stroj, měnící elektrickou energii na mechanickou práci. Opačnou přeměnu, tedy změnu mechanické práce na elektrickou energii, provádí elektrický generátor, např. dynamo či alternátor. Často bývají tato zařízení velmi podobná či zcela identická. Elektromotor užívaný k pohonu vozidel se označuje jako trakční motor.

Tramvaj ke svému pohonu využívá elektromotory (trakční motory). Typ motoru nemusí odpovídat napájecí soustavě, neboť elektrická energie může být do požadované formy upravena. Dalším důležitým parametrem je způsob regulace otáček [38].

#### **9.2.1 Odporová regulace výkonu**

Proud motoru je regulován postupným vyřazováním rozjezdových odporů zapojených s motorem tak, aby nedošlo k přetížení motoru, popřípadě k překročení meze adheze a proklouznutí dvojkolí a to obvykle až do úplného vyřazení odporů.

Výhodou je jednoduchost konstrukce, nevýhodou jsou vysoké energetické ztráty při jízdě na odporových stupních, neboť se přebytečná energie v odporové kaskádě mění v odpadní teplo [7] [38].

### 9.2.2 Polovodičová regulace výkonu

S rozvojem výkonových polovodičových součástek se začala používat polovodičová regulace, která je na rozdíl od odporové regulace výkonu obvykle efektivnější a ekonomicky výhodnější. Ztráty výkonu v polovodičových součástkách jsou totiž nízké, avšak na rozdíl od odporové regulace trvalé. Nevýhodou je složitější konstrukce a nutnost filtrování parazitních vyšších harmonických kmitočtů, které mohou způsobovat nežádoucí rušení sdělovacích a zabezpečovacích zařízení. Moderní vozidla elektrické trakce používají motory založené na točivém magnetickém poli, jejichž regulace je realizovaná pomocí polovodičových frekvenčních měničů (za použití výkonových tyristorů či tranzistorů). Měniče, resp. jejich vstupní filtry mohou být připojené na stejnosměrném systému přímo na trolejové napětí, nebo přes primární měnič na obvod se sníženým napětím. Na střídavém systému jsou napájeny přes transformátor a řízený usměrňovač. Tento způsob regulace je nejekonomičtější a asynchronní motory jsou velmi spolehlivé a levné v provozu, protože neobsahují komutátor a kartáče (výrazně jednodušší je pravidelná provozní údržba) [7] [38].

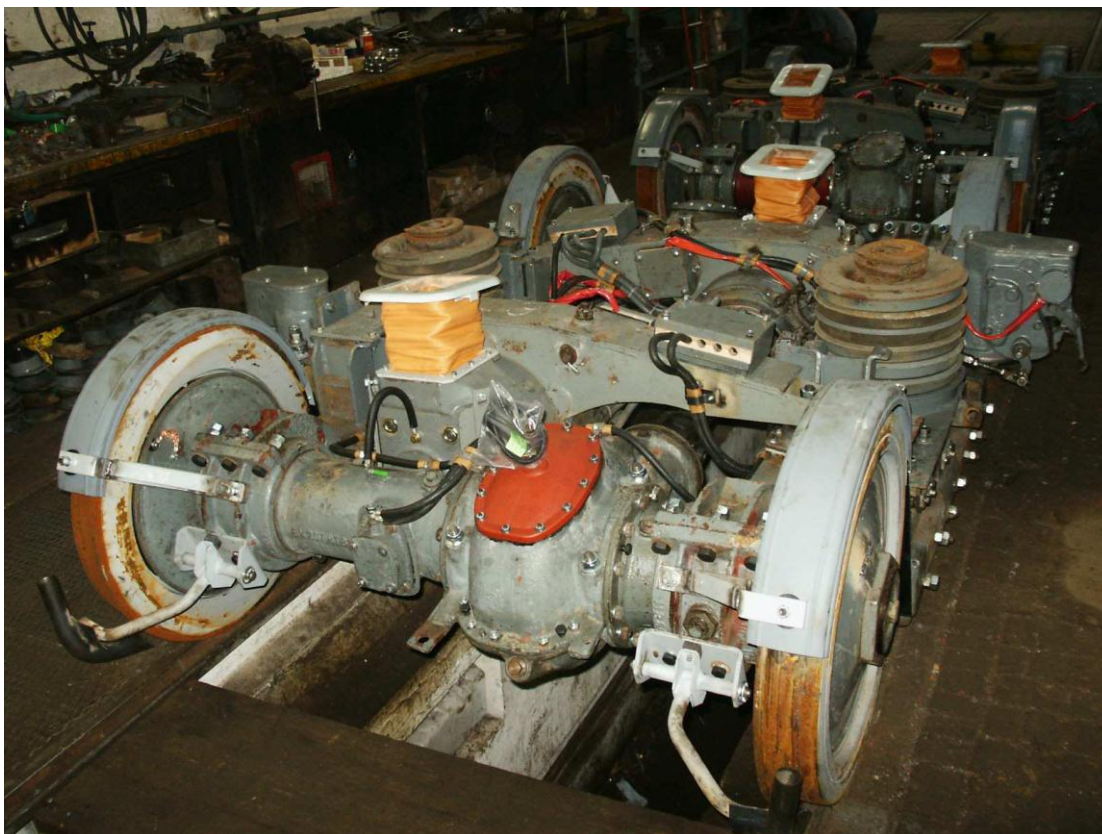
## 9.3 REKUPERACE

Proces přeměny kinetické energie dopravního prostředku zpět na využitelnou elektrickou energii při elektrodynamickém brzdění. Tato energie se buď ukládá do akumulátorů přímo v dopravním prostředku, nebo se vrací do napájecí soustavy (na rozdíl od elektrodynamického brzdění bez rekuperace, kdy se získaná energie maří v odpornících). Rekuperace se využívá zejména u kolejových vozidel s elektrickou trakcí (tramvaje, metro, elektrické jednotky a elektrické lokomotivy), ale je možné se s ním setkat i u vozidel silničních (trolejbus) nebo s hybridní trakcí (např. hybridní lokomotivy, nebo elektromobily či hybridní automobily) [36] [37].

## 9.4 PODVOZKY

### 9.4.1 Podvozek ČKD

Podvozek původní koncepce ČKD Tatra použitý u tramvají T3, K2, K3R-N a KT8D5 s pevným spojením nápravové převodovky s podélníkem rámu podvozku (ve tvaru L) bez primárního vypružení a pevným vedením dvojkolím [39].



*Obr. 13 Podvozek ČKD [39]*



#### 9.4.2 Podvozek KOMFORT

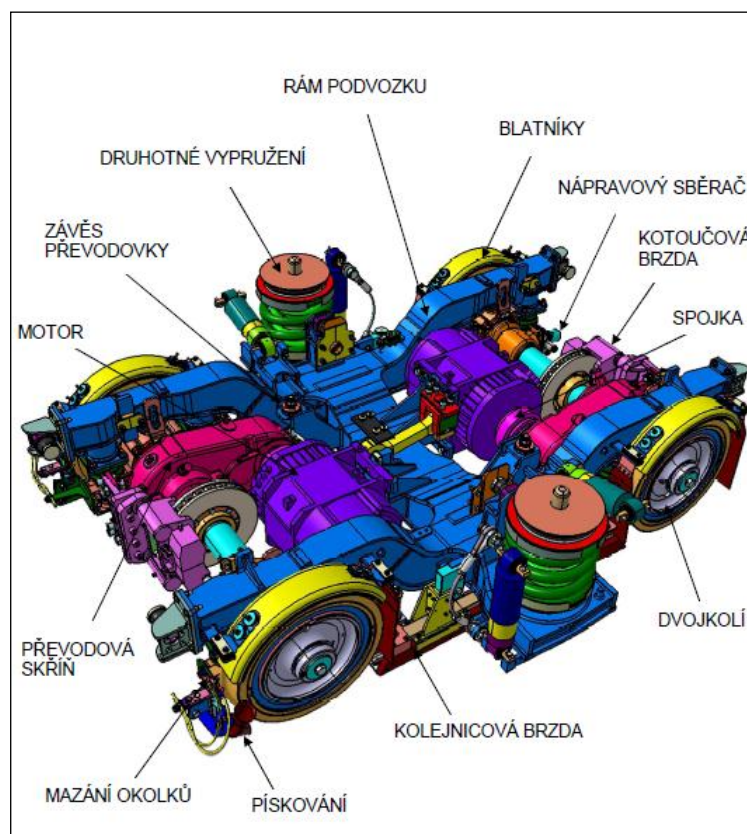
Podvozek typu KOMFORT je dvounápravový s vnitřním rámem a kolébkou vycházející z koncepce podvozků ČKD. Rám je tvořen dvěma půl-rámy tvaru T, vzájemně spojenými dvěma klouby, které tvoří pryžové silentbloky. V příčné ose podvozků je uloženo sekundární vypružení vozu. Sestává z kolébky, ze dvou sad ocelových šroubových pružin a pryžových dorazů vybavených hydraulickými tlumiči ve svislém směru. Podélné vedení kolébky je provedeno pryžokovovými bloky umístěnými ve vodítkách přivařených k rámu podvozku. Příčné pohyby jsou omezeny pryžokovovými prvky. Nápravy jsou opatřeny vypruženými koly typu ČKD Tatra. Jsou uloženy prostřednictvím ložiskových skříní a pryžokovových pružících prvků primárního vypružení v rámu podvozku. Podvozek je vybaven střadačovými kotoučovými brzdami M1 a elektromagnetickými kolejnicovými brzdami. Na první a třetí nápravě je instalováno vedení hadic pískovačů. Podvozek je podobně jako koncepce ČKD vybaveno třemi kusy elektrických sypačů písku původního typu pro vozy KT8, které jsou elektricky ovládané tlačítkem na pultu řidiče. Podvozek je osazen konstrukčně novými převodovkami pro umožnění přenosu vyšších výkonů asynchronních motorů [39].



*Obr. 14 Podvozek typu Komfort [39]*

### 9.4.3 Podvozek typu ŠKODA

Vozidlo je opatřeno třemi trakčními podvozky. Trakční podvozek je dvounápravový s vnitřním rámem, bez kolébky. Rám je ve tvaru H, svařovaný z ocelových plechů. Je tvořen dvěma podélníky a příčnickem. V příčné ose podvozků je uloženo sekundární vypružení vozidla. Sestává ze dvou sad ocelových šroubových pružin a pryžových dorazů a je vybaveno hydraulickými tlumiči. Přenos tažných a brzdných sil z podvozku na skříň vozidla je proveden pomocí ojnice. Příčné pohyby jsou omezeny pryžovými prvky. Nápravy jsou opatřeny vypruženými koly a jsou uloženy prostřednictvím ložiskových skříní a pryžokovových pružících prvků primárního vypružení v rámu podvozku. Každá náprava je poháněna vlastním trakčním motorem upevněným na příčniku rámu rovnoběžně s nápravou. Motory jsou opatřeny otáčkovými čidly. Výkon trakčního motoru je na nápravu přenášen pružnou zubovou spojkou a dvoustupňovou převodovkou s čelními ozubenými koly se šikmým ozubením. Převodovka je opatřena místem pro instalaci čidla tachografu. Kola první nápravy jsou opatřena mazáním okolků. Podvozek je vybaven elektrohydraulickými kotoučovými brzdami, elektromagnetickými kolejnicovými brzdami a elektrodynamickou brzdou. Nad koly jsou umístěny blatníky. Před koly prvé nápravy jsou umístěny ochranné kryty [39].



**Obr. 15** Sestava podvozku typu Škoda [39]



#### **9.4.4 Ostatní - běžné podvozky**

Běžné podvozky jsou zvláštních konstrukcí dle typu vozu (K2, RT6N1 a VV60LF). Nejsou osazeny trakčními motory, ale vždy jsou brzděny jen mechanicky (kotoučová brzda). Brzdná síla je vyvozována střídačovými automaty a pracují na principu elektromechanickém nebo hydraulickém (dle typu vozu). V současné době jsou provozovateli požadována stoprocentně hnaná tramvajová vozidla. Takže nehnané (běžné) podvozky se v konstrukci nových tramvají téměř neužívají [36] [39].

### **9.5 BEZPEČNOST U TRAMVAJÍ**

Bezpečností v dopravě se rozumí souhrn opatření směřujících k maximálnímu omezení vzniku nehod a snižujících následky nehod na nejmenší možnou míru. V městské hromadné dopravě hraje bezpečnost velmi významnou roli, neboť následky nehod se dotýkají velkého počtu cestujících v hromadném dopravním prostředku. Nehody v městském provozu navíc negativně ovlivňují plynulost dopravy. Odstraňování následků nehody, zvláště v případě tramvajové dopravy, má za následek ochromení dopravy v celé síti. Na základě rozborů nehodovosti v městské hromadné dopravě je příčinou většiny nehod lidský faktor. Konkrétně pak nepozornost řidiče nebo nedodržení předpisů [24].

Hlavním bezpečnostním prvkem u tramvaji jsou brzdy. Většinu brzdného výkonu vykonává elektrodynamická brzda. V případě výpadku elektrodynamické brzdy přebírá automaticky celou brzdnou práci systém mechanické brzdy až do úplného zastavení vozidla. V případě nouzového brzdění je ještě využita elektromagnetická kolejnicová brzda [24] [35].

#### **9.5.1 Výhled z vozidla**

Pro zajištění bezpečnosti tramvaje je důležité zajistit řidiči dostatečný výhled z vozidla. Řidič musí být schopen bezpečného rozhodování za jízdy (přehled o dění na komunikaci a v okolí vozidla) i v zastávkách (nástup a výstup cestujících). Svým zorným polem je schopen přehlédnout oblast vedle (velice důležité místo je na levé straně těsně za řidičem) a před vozidlem. Výhled je však omezen předními sloupky karoserie. Výhled za vozidlo řidiči umožňují zařízení pro nepřímý výhled. Těmito zařízeními mohou být konvenční zpětná zrcátka nebo moderní systémy kamera/monitor. Tato zařízení pro nepřímý výhled řadíme do bezpečnostní výbavy vozidel [24].

### 9.5.2 Záchytné tyče

Slouží pro zajištění bezpečnosti cestujících během jízdy. Prostor pro cestující by měl být, a většinou je vhodně vybaven dostatečným počtem záchytných tyčí a madel. Na stropě všech dílů vozu jsou upevněny vodorovné záchytné tyče, které procházejí téměř celým vozem. Tyto tyče bývají ve výšce 1950 až 2100 mm nad podlahou. Zahnuté konce těchto tyčí jsou přivařené do přírub, a ty jsou pak přišroubovány do stropu. Součástí vodorovných tyčí jsou svislé záchytné tyče. Pro usnadnění vstupu a výstupu cestujících jsou u všech dveří připevněna madla. [42].

Vyhláška ministerstva dopravy a spojů, č. 175/2000 Sb, o přepravním řádu pro silniční dopravu osob zabezpečuje přepravní podmínky a zahrnuje mj. povinnosti cestujících, jejichž dodržování může zamezit vzniku zranění při dopravní nehodě [31].

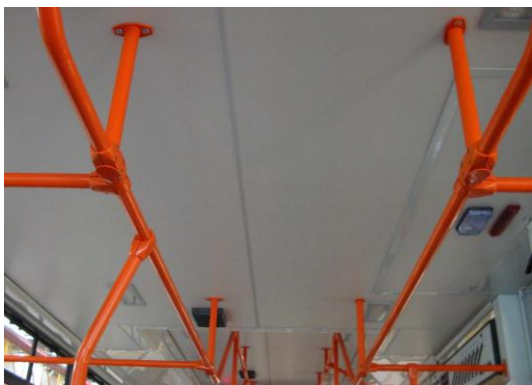
Příkladem mohou být tyto níže uvedené povinnosti:

- stojící cestující je povinen se za jízdy držet
- zdržet se všeho, co by mohlo ohrozit bezpečnost a plynulost přepravy a pořádek ve vozidle, mohlo působit rušivě na pověřené osoby při výkonu jejich služby nebo mohlo způsobit škodu dopravci nebo cestujícím
- uvolnit vyhrazené sedadlo osobám se sníženou schopností pohybu nebo orientace

Povinnost cestujících, držet se při jízdě dopravního prostředku, hraje významnou roli ve zpracování a dosažení cíle zadání diplomové práce.

### 9.5.3 Držadla Handy

Jde o plastová držadla, která přibližují cestujícímu podélnou tyč a zvyšují bezpečnost a pohodlí cestujících v prostředcích hromadné dopravy. Zároveň nabízejí ideální prostor pro jakoukoli upoutávku v podobě reklamního nosiče ve výši očí dospělého člověka [42].



**Obr. 16** Záchytné tyče [36]



**Obr. 17** Držadla Handy [42].

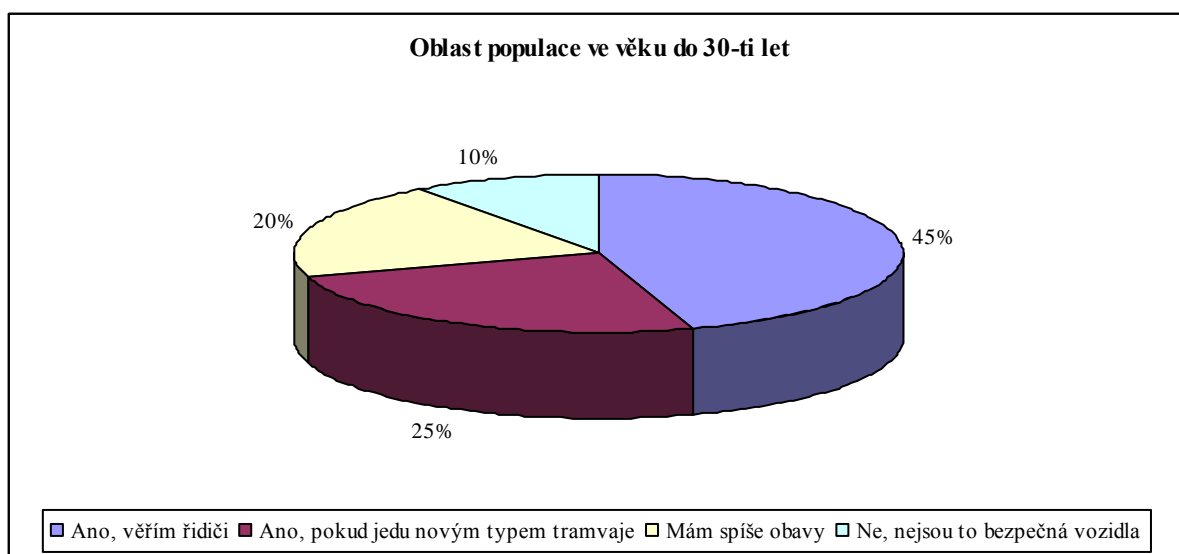
### 9.5.4 Bezpečnost v tramvaji z pohledu populace

S vlivem brzdného zpomalení tramvaje na stojící cestující je velmi úzce spjata jejich bezpečnost. Proto jsem oslovila občany města Brna a poprosila je prostřednictvím krátké ankety k zodpovězení otázky, zda se v tramvaji cítí bezpečně. Oslovenou populaci jsem rozdělila do tří věkových kategorií. Z každé věkové kategorie jsem poprosila o vyjádření 100 respondentů. Níže je uvedeno grafické znázornění s procentuálním vyjádřením jednotlivých odpovědí. Ze statistického zpracování dat plyne, že nejbezpečněji se v tramvaji cítí oblast populace ve věku do 20-ti let. S rostoucím věkem jistota bezpečnosti klesá [44].

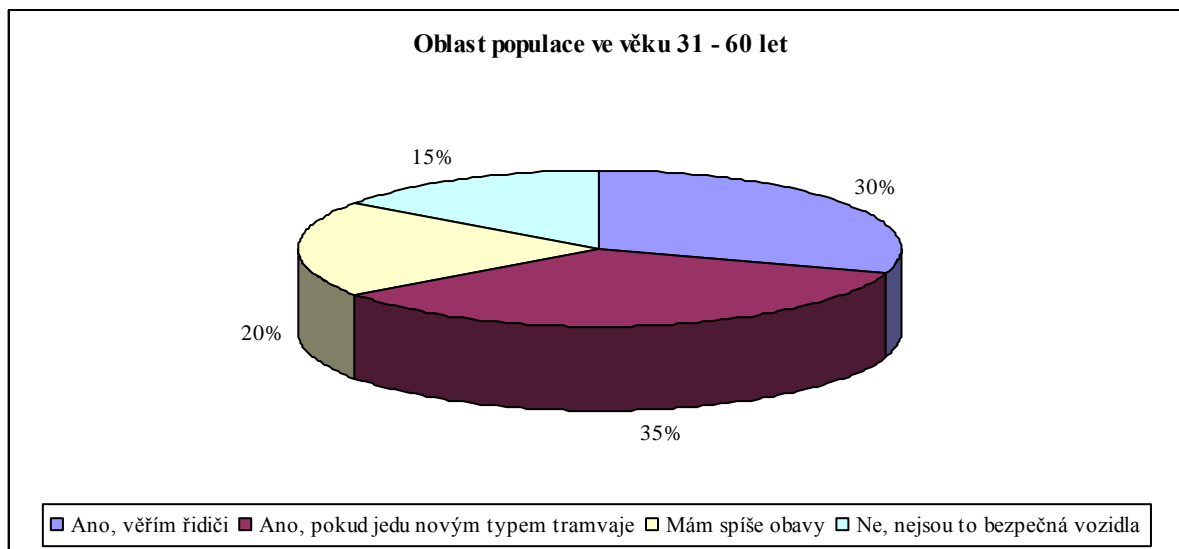
Odpověď	Počet odpovědí dané věkové kategorie		
	Věk do 30-ti let	31 - 60 let	Věk nad 61 let
Ano, věřím řidiči	45	30	20
Ano, pokud jedu novým typem tramvaje	25	35	20
Mám spíše obavy	20	20	25
Ne, nejsou to bezpečná vozidla	10	15	35

**Tab. 13** Odpovědi na anketní otázku

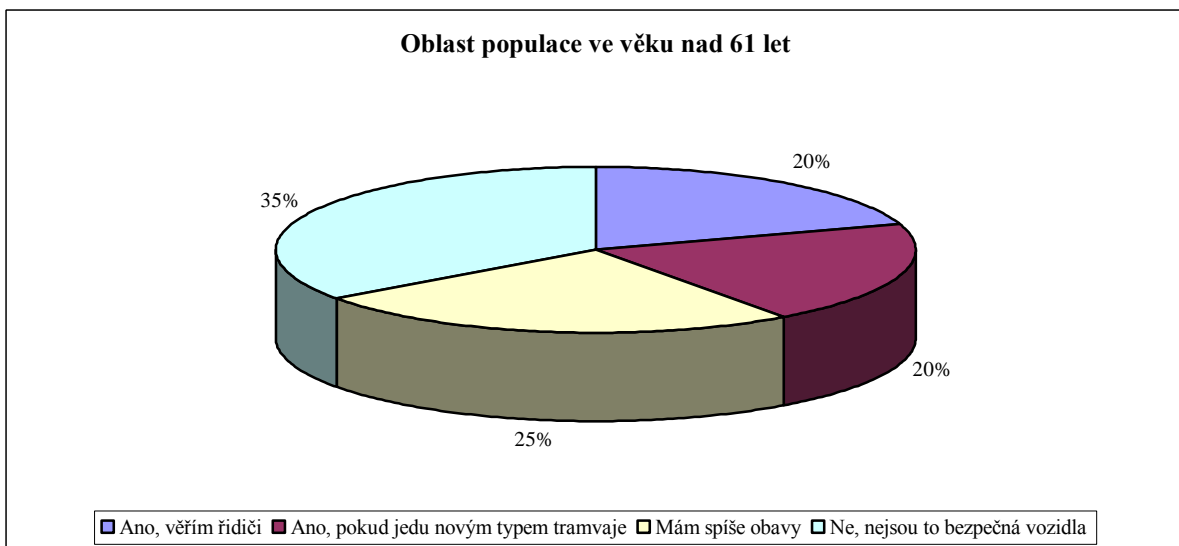
Grafické znázornění odpovědí brněnské populace na anketní otázku: *Cítíte se v tramvaji bezpečně?*



**Graf 1** Oblast populace ve věku do 30-ti let



**Graf 2** Oblast populace ve věku do 31 - 60 let



**Graf 3** Oblast populace ve věku nad 61 let

S rostoucím věkem lze pozorovat růst obav cestujících z cestování tramvajemi. Obecně se cestující vždy cítí bezpečněji v tramvajích nových typů. Jsou kvalitněji konstruovány, takže i při dopravních nehodách lépe odolávají případným deformacím a je nižší riziko zranění. To lze potvrdit například při pohledu na následujících fotografie z nehody tramvají, ke které došlo 19. září 2011 v Praze. Starší tramvaj T6A5 (ČKD) narazila do zadní části stojící moderní tramvaje Škoda 14T. Rozdílný rozsah poškození obou typů tramvají byl patrný již na první pohled. Škoda 14T měla zdeformované čelo karosérie do hloubky 50 až 60 cm, přičemž v prostoru pro pasažéry nedošlo k velkému poškození a cestující neutrpěli žádná zranění. Naproti tomu karosérie tramvaje T6A5 byla v oblasti čelního nárazu zcela

zničena do hloubky 3 m a její řidič střet nepřežil. Naštěstí v tramvaji nebyli žádní cestující, kteří by mohli být v ohrožení života[43]. [47].

Z rozboru důsledků popsané srážky lze odvodit, že tramvaj Škoda 14T, zvaná Porsche, je bezpečnější jak pro cestující, tak pro řidiče. Obě čela mají stejné konstrukční řešení a jsou vybaveny deformačními členy s hydraulickými tlumiči. Otázkou zůstává, zda má cenu staré tramvaje renovovat, protože tím dochází pouze ke zlepšení jejich vzhledu či zvýšení spolehlivosti provozu. Bezpečnost přepravovaných osob a řidiče i po renovaci zůstává na úrovni původního zastaralého provedení a nedá se srovnat s bezpečnostními prvky nových tramvají [43]. [47].

U automobilů je bezpečnost testována prostřednictvím tzv. crash testů, u vozidel městské hromadné dopravy nelze takto komplexní testy s ohledem na pořizovací cenu provádět. Pokud však dojde k nehodě, dá se díky pohavarijní diagnostice posoudit tuhost a bezpečnost konstrukce. Tramvaj Škoda 14T se při střetu se starým typem tramvaje ČKD v těchto rozborech prokázala jako bezpečnější nejen pro cestující, ale i pro řidiče [47].



**Obr. 18** Foto tramvaje ČKD - T6 [47]



**Obr. 19** Foto z místa nehody tramvaje ŠKODA 14T [47]



**Obr. 20** Následky srážky tramvají v Praze [47]

## **10    LEGISLATIVA A NORMY SOUVISEJÍCÍ SE ZKOUŠENÍM BRZD TRAMVAJE**

Tuzemská tramvajová doprava je vymezená následujícím legislativním rámcem

ČSN 281300	Tramvajová vozidla - technické požadavky a zkoušky
ČSN EN 13452-1	Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu - Část 1: Požadavky na provedení
ČSN EN 13452-2	Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu - Část 2: Zkušební metody
ČSN EN 50215	Drážní zařízení - Drážní vozidla - Zkoušení drážních vozidel po dokončení a před uvedením do provozu

Vyhl. č. 266/1994 Sb. Zákon o drahách

Vyhláška ministerstva dopravy ČR č. 173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah, ve znění pozdějších předpisů

## 11 DRUHY BRZD TRAMVAJE A JEJICH FUNKCE

### 11.1 DRUHY REŽIMŮ BRZDĚNÍ

Tramvaj může kombinovat uvedené typy brzdění a na základě toho dosáhnout určitého brzdného účinku. Typy brzdění jsou následující [29] [30]:

- **provozní** - elektrodynamická - využívá elektrodynamické (nad 4 km/h) a mechanické zajišťovací brzdy (pod 4 km/h), je využívána při dojezdu do zastávek a její minimální střední brzdné zpomalení podle drážních předpisů hodnota větší než  $1,12 \text{ m/s}^2$
- **zajišťovací, parkovací** - čelist'ová (mechanická třecí brzda) - působí proti svévolnému rozjetí tramvaje, prostřednictvím mechanické brzdy. Norma drážních předpisů neudává minimální brzdné zpomalení pro tento typ brzdění, ale udává, že tato brzda musí udržet plně zatížené drážní vozidlo na maximálním sklonu trati, pro který je konstruováno
- **nouzové** - kolejnicová a elektrodynamická - vykazuje nejvyšší brzdné zpomalení, jde o kombinaci všech tří typu brzd (elektromagnetická, elektrodynamická a čelist'ová brzda). Může ji spustit pouze řidič tramvaje zadáním brzdového pedálu do koncové polohy. V případě ručního řadiče se jedná o koncovou brzdnu polohu rukojeti řadiče a norma pro střední brzdné zpomalení je hodnota větší než  $2,30 \text{ m/s}^2$
- **bezpečnostní, záchranné** - čelist'ová, kolejnicová a elektrodynamická - jsou zapojeny elektromagnetická, elektrodynamická a čelist'ová brzda s aktivací výstražného zvonku. Uvádí se v činnosti stlačením červeného bezpečnostního tlačítka umístěného na stanovišti řidiče nebo jakéhokoliv tlačítka „záchranná brzda“ situovaných v prostoru cestujících, většinou na dveřních pohonech. Norma pro střední brzdné zpomalení je hodnota větší než  $2,30 \text{ m/s}^2$  [8].

## **11.2 ZÁKLADNÍ TYPY BRZD TRAMVAJE**

### **11.2.1 Brzda elektrodynamická**

Elektrodynamická brzda funguje na principu práce trakčních motorů v generátorickém režimu. Po zadání povelu brzdy řidičem (buďto z brzdového pedálu nebo z ručního řadiče) jsou připraveny v sepnutém stavu brzdové stykače. Po zadání je překontrolováno jejich sepnutí a je vyslán signál pro zahájení brzdění do elektronických regulátorů pulzních měničů. Řidič má možnost volit z několika stupňů elektrodynamického brzdění dle typové řady tramvají. Elektrodynamická brzda působí jen při dostatečné rychlosti (většinou nad 4 km/h).

Uvedená brzda se používá při běžném provozním brzdění téměř až do zastavení vozu. Účinnost elektrodynamické brzdy roste s rostoucími otáčkami elektromotoru, je ale téměř neúčinná při rychlostech nižších než 4 km/h. V nižších rychlostech nastupuje brzda mechanická (čelist'ová nebo kotoučová). V případě selhání elektrodynamické brzdy se ihned aktivuje brzda mechanická, bez ohledu na rychlost tramvaje [23] [41].

### **11.2.2 Brzda mechanická třecí – čelist'ová nebo kotoučová**

Mechanická brzda působí až do zastavení a zároveň plní i funkci brzdy zajišťovací (parkovací). Většinou je kotoučová brzda (čelist'ová) situována na výstupní hřídel z trakčního motoru (pouze u vozů s hydraulickou ovládanou brzdou je brzdový kotouč nasazen na nápravě). Brzda mechanicky brzdí rotory trakčních motorů tramvaje a využívá principu třecích brzd. [27].

Brzda zajišťovací nastupuje automaticky bez zásahu řidiče tehdy, nepůsobí-li z jakéhokoli důvodu brzda elektrodynamická. Důvody mohou být následující: rychlost vozu je menší než 4 km/h, vypnutí spínače řízení, odpojení baterie, zhroucení palubní napájecí sítě 24 V a v důsledku zkratu nebo havárie. Mechanická brzda má důležitou bezpečnostní funkci. Užití kotoučové nebo čelist'ové brzdy je dán typem tramvaje [29] [34].

### **11.2.3 Kolejnicová brzda**

Kolejnicová brzda je v podstatě tvořena podlouhlým elektromagnetem s jednou cívkou napájenou napětím 24 V přímo z akumulátorové baterie. Napájení i ovládání kolejnicových brzd je provedeno po dvojicích - odděleně zadní a přední podvozek. [27].

Vlastní aktivace kolejnicových brzd je možná několika způsoby. Vzhledem k tomu, že kolejnicové brzdy tvoří jakousi přídatnou neřízenou brzdu, jsou využívány pouze



v extrémních případech. Řidič může aktivovat kolejnicové brzdy vychýlením páky ručního řadiče do krajní polohy, konkrétně při nouzové brzdě prvního stupně jsou aktivovány kolejnicové brzdy druhého podvozku a při nouzové brzdě druhého stupně pak kolejnicové brzdy obou podvozků. Napájení řídicích obvodů kolejnicových brzd je navíc vedeno přes kontakty bezpečnostního relé. Při rozpadu bezpečnostní smyčky (záchranná brzda) tak dojde k aktivaci všech kolejnicových brzd. Ovládací obvody kolejnicových brzd tvoří pomocná relé, která spínají pomocné stykače kolejnicových brzd. Celá logika řízení kolejnicových brzd je navržena jako bezpečnostní, tzn. při provozu jsou ovládací relé sepnuta – k aktivaci dojde při ztrátě napájení [35] [41].



***Obr. 21 Kolejnicová brzda [35]***

## 12 BRZDOVÝ SYSTÉM TRAMVAJE LTM 10.08.1 (ANITRA)

Brzdový systém tramvaje ANITRA je blíže popsán z toho důvodu, že konkrétně v tomto typu tramvaje bylo provedeno měření brzdného zpomalení tramvaje a byl pozorován jeho vliv na stojící cestující [33].

### 12.1 MECHANICKÁ BRZDA

Vozidlo je vybaveno elektrohydraulickým brzdovým systémem kotoučových brzd s použitím hydraulického oleje. V případě poruchy elektrodynamické brzdy mechanická brzda plně nahradí elektrodynamickou brzdu bez omezení hlavních a vedlejších brzdných funkcí tramvaje [33].

#### 12.1.1 Provozní režimy mechanické brzdy

Brzda obstarává brzdnou sílu v následujících stavech:

- stav provozního brzdění
- stav udržovacího brzdění
- stav náhradního brzdění
- stav nouzového brzdění
- stav záchranného brzdění
- stav parkovacího brzdění

#### *Provozní brzdění*

Funkce mechanické brzdy je závislá především na signálech z řízení pohonu vozidla, které korespondují s vlastní rychlostí vozidla [29] [30]:

- počáteční rychlost nad 7 km/h

Pohybuje-li se vozidlo rychlostí vyšší jak 7 km/h obstarává brzdu elektrodynamická brzda. Povel brzda je aktivován řidičem prostřednictvím ručního řadiče. Když je dosaženo prahové rychlosti  $7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  je aktivován signál „převzetí brzdy“ výstupem trakčního počítače. Tento signál je registrován v řídící jednotce brzdy. Po tomto signálu dochází k postupnému aktivování mechanické brzdy (elektrodynamická brzda ztrácí brzdnou sílu). Příkladná brzdná síla je funkcí potřeby globální brzdy a zatížení vozidla. Systém funkce protismykové ochrany je během sledu brzdění aktivní. Když se rychlost přiblíží nule (okolo 1 km/h), řídící jednotka brzdy dává povel rychlého užití udržovací brzdy [33].

- počáteční rychlost pod 7 km/h

### ***Náhradní brzdění***

Mechanická brzda vozidla je navržena tak, aby plnohodnotně nahradila elektrodynamickou brzdu v případě jejího selhání. Počítač trakčního měniče generuje signál „EDB O.K.“. V případě ztráty tohoto signálu aktivuje řídící jednotka brzdy mechanickou brzdu (pokud je brzda požadována řidičem). Přikázaná brzdná síla je funkcí potřeby globální brzdy (velikosti vychýlení páky ručního řadiče) a zatížení vozidla [32]. [33]

### ***Nouzové brzdění***

Při nouzovém brzdění je aplikována maximální elektrodynamická brzda (brzda do odporu, nezávislá na trolejovém napětí) + kolejnicové brzdy zadní resp. obou náprav. V závislosti na rychlosti, zatížení a eventuálním smyku vozidla je navíc aplikována mechanická brzda. Systém protiskluzové ochrany je během nouzového brzdění aktivní. V případě výpadku elektrodynamické brzdy je aplikována maximální brzdná síla mechanické brzdy.

Pozn. Pro zachování obdobných parametrů brzd vozidla v co nejširším rychlostním a hmotnostním rozsahu je využíván tzv. „blending“ což je aktivování třecí brzdy spolu s elektrodynamickou brzdou. K blendingu dochází hlavně při nouzovém zadání brzdy a při vyšších rychlostech (nad 50 km/h), kdy dochází k omezování výkonu elektrodynamické brzdy. Při požadavku nouzové brzdy je blending nasazován v závislosti na hmotnosti vozidla v celém rychlostním rozsahu. Při spolupůsobení mechanické a elektrodynamické brzdy má vždy prioritu brzda elektrodynamická. Je nutné zdůraznit, že blending je aktivován pouze v případě, že počítač trakčního měniče neindikuje smyk [33].

### ***Záchranná brzda***

Z bezpečnostních důvodů je v celém systému použito tzv. bezpečnostní smyčky. V případě že dojde k rozpojení této bezpečnostní smyčky je řídící jednotka brzdy okamžitě elektricky odpojena od třecích jednotek a nezávisle na dalších vnějších signálech je aktivována maximální mechanická brzda. Brzdná síla, která je aplikována, odpovídá maximálnímu zatížení vozidla. Protože je během záchranného brzdění odpojena řídící jednotka brzdy, není funkce protismykové ochrany aplikována [33].

### ***Parkovací brzda***

Je-li vozidlo parkováno na dlouhou dobu a brzdňý systém není napájen 24 V, aktivuje se parkovací brzda. Absence napájecího napětí aktivuje brzdňou sílu, která odpovídá maximálnímu zatížení vozidla (podobně jako při záchranném brzdění) [32] [33].

#### **12.1.2 Popis systému mechanické brzdy**

Funkce mechanické brzdy je řízena signály z ručního řadiče definujícími stav vozidla a signály generovanými řídicím počítačem pohonu. Kombinace jednotlivých signálů definují konkrétní provozní stavy. Pokud se vyskytne kombinace signálů, která nepředstavuje žádný provozní stav, je indikována chyba systému. Chování vozidla závisí na závažnosti poruchy (pokračuje v jízdě, přejde do výběhu nebo zabrzdí) [33].

## **12.2 HYDRAULICKÁ BRZDA**

Elektrohydraulická třecí brzda se skládá z jednotlivých komponentů vlastního hydraulického okruhu a elektronického řídicího systému brzdového systému.

Hydraulický obvod vozidla tvoří v podstatě dva nezávislé obvody, každý pro příslušný podvozek. Hydraulický obvod podvozku lze dále rozdělit do dvou okruhů. Hlavní okruh tvoří hydraulický agregát K.P.T.001. Nouzový okruh pak tvoří agregát nouzového odbrzdění NOE2000 a blok H-M odbrzdění, pomocí kterého lze připojit ruční pumpu pro nouzové odbrzdění v případě nefunkčnosti agregátu nouzového odbrzdění.

Na další stránce je rovněž zobrazeno zjednodušené blokové schéma elektrického zapojení brzdového systému. Jedná se pouze o naznačení principu řízení brzdy, podrobné elektrické zapojení řízení brzdy je možné najít v projekční dokumentaci. Hlavní nadřazenou řídicí jednotkou brzdového systému je řídicí počítač PP 01.2, který je umístěný v mezistěně řidiče. Tento počítač zpracovává signály z řídicích obvodů vozidla a požadavky od řidiče a posílá informaci o požadované brzdě řídicím jednotkám jednotlivých hydraulických agregátů RB 01.1. Řídicí jednotky hydraulických agregátů pak řídí funkci vlastního hydraulického agregátu. Přenos informace z hydraulického agregátu na vlastní brzdič se děje pouze pomocí hydrauliky, tzn. na podvozek není přivedena žádná elektrická kabeláž týkající se brzdového systému [33].

## 12.3 BEZPEČNOSTNÍ SMYČKA, MRTVÝ MUŽ

Obvody bezpečnostní smyčky a obvody mrtvého muže slouží ke zvýšení bezpečnosti tramvaje. Bezpečnostní smyčka, neboli obvod záchranné brzdy, je vedena po celé tramvaji, přičemž její jakékoliv přerušení aktivuje záchrannou brzdou. Bezpečnostní prvek, tzv. mrtvý muž, sleduje bdělost řidiče tak, že je nucen po odbrzdění tramvaje stlačovat rukojeť řadiče (platí u vozů s ručním řadičem). Pokud řidič po odbrzdění tramvaje z jakéhokoli důvodu přestane stlačovat rukojeť řadiče, dojde nejprve k akustické výstraze trvající cca osm vteřin a poté je uvedena do činnosti záchranná brzda. Obvod mrtvého muže je v podstatě část bezpečnostní smyčky vozu [33].

## 12.4 VÝSLEDKY ZPOMALENÍ Z BRZDOVÝCH ZKOUŠEK

Druh brzdy	Rychlost [km/h]	Dráha [m]	Střední brzdné zpomalení [ $\text{m/s}^2$ ]	Nejnižší povolené střední brzdné zpomalení [ $\text{m/s}^2$ ]
Provozní	44,4	35	2,17	1,12
	43,9	38	1,95	1,12
Záchranná	43,9	27	2,75	2,30
Zajišťovací	39,9	40	1,54	1,12
Nouzová	45	27	2,89	2,30

**Tab. 14** Výsledky zpomalení z brzdových zkoušek vozu číslo 1810 [33]

Druh brzdy	Rychlost [km/h]	Dráha [m]	Střední brzdné zpomalení [ $\text{m/s}^2$ ]	Nejnižší povolené střední brzdné zpomalení [ $\text{m/s}^2$ ]
Provozní	43,3	35	2,07	1,12
	42,3	34	2,03	1,12
Záchranná	43,3	30	2,41	2,30
Zajišťovací	39,1	42	1,40	1,12
Nouzová	42,3	25	2,76	2,30

**Tab. 15** Výsledky zpomalení z brzdových zkoušek vozu číslo 1811 [33]

Druh brzdy	Rychlost [km/h]	Dráha [m]	Střední brzdné zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	Nejnižší povolené střední brzdné zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]
Provozní	45,5	38	2,10	1,12
	46,1	47,5	1,73	1,12
Záchranná	42,3	21	3,29	2,30
Zajišťovací	41,8	38	1,77	1,12
Nouzová	43,3	23	3,15	2,30

**Tab. 16** Výsledky zpomalení z brzdových zkoušek vozu číslo 1812 [33]

Druh brzdy	Rychlost [km/h]	Dráha [m]	Střední brzdné zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	Nejnižší povolené střední brzdné zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]
Provozní	39,5	30	2,01	1,12
	43,3	39	1,86	1,12
Záchranná	40,9	23	2,80	2,30
Zajišťovací	39,5	44	1,37	1,12
Nouzová	45,5	27	2,96	2,30

**Tab. 17** Výsledky zpomalení z brzdových zkoušek vozu číslo 1814 [33]

## 13 PŘEDEPSANÉ HODNOTY MINIMÁLNÍHO STŘEDNÍHO BRZDNÉHO ZPOMALENÍ TRAMVAJE

Pravidla technického provozu městských drah stanovují, že minimální hodnota středního brzdného zpomalení musí vykazovat následující hodnoty:

Brzdění uvedeným druhem brzdy	Střední brzdné zpomalení $\text{m/s}^2$
Provozní brzda	1,12
Zajišťovací brzda	1,12
Nouzové brzdění	2,30
Záchranná brzda	2,30

**Tab. 18** Hodnoty středního brzdného zpomalení [39]

## 14 METODIKA MĚŘENÍ BRZDNÉHO ZPOMALENÍ

### 14.1 DECELEROMETR

Decelerometr je přístroj určený pro zjišťování největší hodnoty zpomalení vozidla při brzdění, která slouží jako kritérium brzdného účinku. Jeho funkce je většinou odvozena z pohybu kyvadla, na které působí při brzdění síly způsobující jeho vychýlení. Mimo analogových přístrojů s mechanickým kyvadlem je známý decelerometr, kde funkci kyvadla vykonává náplň tvořena rtutí, působící na zbarvenou kapalinu, která má dostředivou přilnavost. Na základě intenzity brzdění vytlačuje vlivem setrvačného účinku rtuť zbarvenou kapalinu. Následně je možno na stupnici odečíst hodnotu zpomalení [21].

### 14.2 DECELEROMETR XL METER™ PRO

Elektronický přístroj XL Meter™ Pro Inventure, Inc. je mobilní zařízení, které slouží k měření zrychlení nebo zpomalení v příčném a podélném směru v rozsahu  $-12,7 \text{ m/s}^2$  až  $+12,7 \text{ m/s}^2$  s citlivostí  $0,1 \text{ m/s}^2$ . XL Meter zaznamenává průběh podélného a bočního zrychlení vozidla. Jeho využití je při brzdných, akceleračních nebo jízdních zkouškách. Výhodou je snadná instalace a rychlé použití. Přístroj se pomocí vakuového držáku připevní na přední nebo zadní sklo vozidla (případně na jinou plochu) a po kalibraci, dle signalizace na displeji, je připraven k měření. Měřená data se ukládají do paměti přístroje. Přístroj okamžitě vyhodnocuje na displeji střední hodnotu plného brzdného zpomalení, brzdnou dráhu, výchozí rychlost, ze které se brzdilo a dobu brzdění. Během měření je možno zaznamenat až 8 záznamů. Zařízení je možno používat s tzv. brzdovým spouštěčem, který po sešlápnutí brzdového pedálu zaznamená do měřeného průběhu okamžik sešlápnutí brzdy. Kompletní charakteristika měřeného děje může být následně počítačově zpracována v podobě grafů, případně tabulek. [21].



**Obr. 22** Přístroj XL-Meter Pro Alfa firmy Inventure Automotive Electronics Inc. [36]



### 14.3 DECELEROGRAF

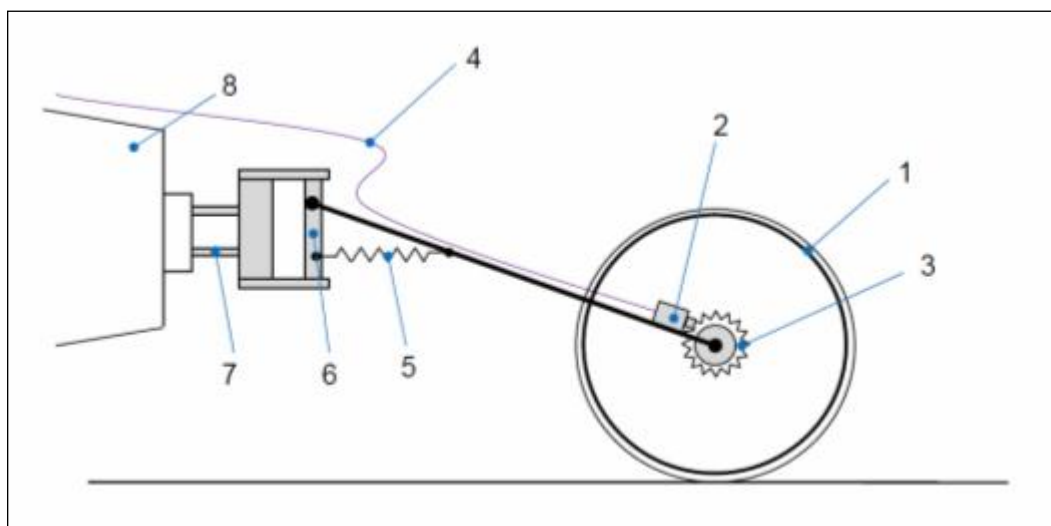
Decelerograf je propracovanějším přístrojem pro měření zpomalení. Navíc je vybaven registračním zařízením a hydraulickým snímačem ovládací síly na brzdovém pedálu. Závaží o určité hmotnosti, pohyblivě uložené v jedné rovině, se při brzdění pohybuje proti pružině. Pohyb závaží, úměrný zpomalení se mechanismem přenáší na zapisovací hrot. Pohyb je úměrný zpomalení vozidla. Hrot zaznamenává velikost zpomalení na registrační papír. Přístroj je také zpravidla vybaven snímačem ovládací síly na brzdovém pedálu, hodnota této síly je rovněž zaznamenávána. Obě měřené veličiny jsou registrovány v závislosti na čase. Ze záznamu lze vyhodnotit hodnotu největšího zpomalení, střední hodnotu plného brzdného zpomalení a velikost ovládací síly, která při zpomalení působila na brzdový pedál [21].

V současné době jsou již na trhu i plně elektronické decelerografy jejichž měření je založeno na principu elektronických snímačů. Přístroj zaznamenává kompletní průběh brzdné zkoušky s konečným vyhodnocením měření celkového brzdného zpomalení a jeho závislost na ovládací síle působící na pedál. Při měření je přístroj pevně umístěn ve vozidle dle směrových šipek. Výstupem je graf brzdného zpomalení v závislosti na čase a vypočtená průměrná hodnota celkového zpomalení. Přístroj je též vybaven tiskárnou [21].

### 14.4 VLEČNÉ KOLO

K dynamickým brzdným zkouškám je možno použít také vlečné kolo. Jde o zařízení, kterým je možné testovat brzdné vlastnosti vozidel. Vlečné kolo je tvořeno lehkým kolem (upravené jízdní kolo) o rozměru 28, u kterého se jeho dynamický poloměr v závislosti na rychlosti prakticky nemění. Vlečné kolo je připevněno nejčastěji kardanovým závěsem k zadnímu nárazníku nebo k pomocné konstrukci. Snímání rychlosti a brzdných drah se uskutečňuje díky elektronickému snímači impulsů (světelná dioda, fototranzistor, zesilovač), který je nejčastěji umístěn přímo v ose otáčení kola nebo je umístěn na kardanovém závěsu a rotační část snímače je poháněna ohebnou hřídelí [21].

Tato zařízení jsou většinou vybavena číslicovým ukazatelem počáteční rychlosti a brzdné dráhy. Registrační přístroj vyhodnotí elektrické impulsy automaticky a na ukazateli lze přímo odečíst skutečnou rychlost vozidla před brzděním a výslednou brzdnou dráhu, popř. i střední zpoždění během brzdné zkoušky. Ke snímání skluzu se používají snímače skluzu kol, které se připevňují k vozidlovým kolům. V současnosti se k záznamu dat používá počítač [21].



**Obr. 23** Vlečné kolo [44]

Legenda:

- 1 - kolo
- 2 - snímač impulsů
- 3 - ozubené kolo
- 4 - elektrický kabel přenášející impulsy z kola do měřicího přístroje
- 5 - přitlačná pružina
- 6 - kardanová závěs
- 7 - upevnění k vozu
- 8 - měřené vozidlo

## 15 REALIZACE MĚŘENÍ BRZDNÉHO ZPOMALENÍ TRAMVAJE

Měření brzdného zpomalení tramvaje bylo realizováno dne 3.4.2012 v Brně, ve vozovně Pisárky, za asistence pracovníků DPMB. K měření byla využita tramvaj typu ŠKODA 03T (ANITRA), číslo vozu 1807. Meteorologické podmínky při měření: slunečno, teplota 9 °C.



*Obr. 24 Tramvaj 03T (ANITRA) [44]*

### 15.1 METODIKA MĚŘENÍ

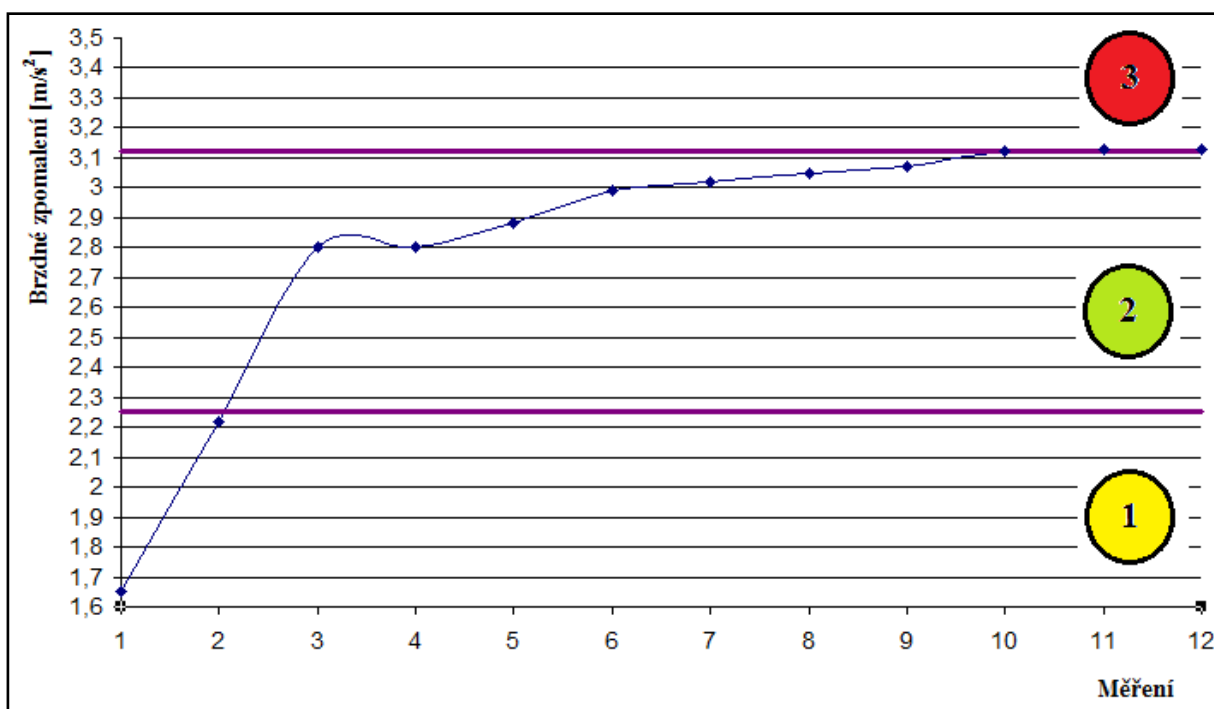
Měření bylo realizováno dvěma měřicími technikami, pro možné srovnání. Konkrétně byla využita metodika vlečného kola a XL-meter. Cestující byli nahrazeni figuranty. Z bezpečnostních důvodů jsem neuplatnila pro měření brzdného zpomalení starší osoby, abych neriskovala případná zranění. Realizováno bylo celkem dvanáct brzdných zkoušek. Součástí každé zkoušky bylo natočení videozáznamu, který dokumentuje chování cestujících v dopravním prostředku. Uplatňovaly se brzdy, které jsou v praxi nejvíce používány. Jde o brzdu provozní a brzdu nouzovou. Cílem bylo určit mezní zpomalení, při němž stojící cestující udrží stabilitu. Praktickou část jsem obohatila o měření, kde byl využit kočárek pro dítě s panenkou.. Přínosem je rovněž videozáznam, který zachycuje chování kočárku při jeho správném a nesprávném postavení při jízdě vozidla.

## 15.2 DISKUZE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Následující tabulka vystihuje výsledné hodnoty naměřeného brzdného zpomalení tramvaje. Z tabulky jsou patrné rozdíly ve výsledcích brzdného zpomalení měřeného metodou vlečného kola a za použití decelerometru. Tyto odchylky jsou způsobeny nečistou kolejí, po níž bylo odvalováno vlečné kolo, případně odchylkou měření vlečného kola. Odchylky měření decelerometrem jsou způsobeny případnými vzniklými skluzy ve stykové plošce mezi kolem a kolejnicí. Hodnoty brzdných zpomalení zjištěny při měření decelerometrem jsou vyneseny v grafech nacházejících se v přílohách. Níže (str. 54) se nachází graf, který dokumentuje vliv zpomalení na stojící cestující. V tramvaji, jak bylo zjištěno při měření a natáčení videozáznamů, jsou jisté oblasti, kde i pro sedící cestující může být brzdění nebezpečné. Proto jsem se pokusila navrhnout opatření aktivní bezpečnosti, pro snížení rizika zranění (viz obr. 26).

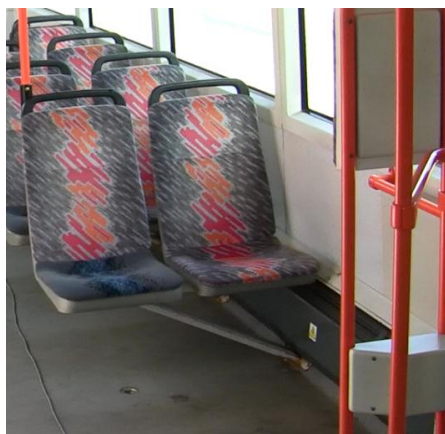
Druh brzdy	Decelerometr		Vlečné kolo	
	Výchozí rychlost [km/h]	Zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]	Výchozí rychlost [km/h]	Zpomalení [m/s <sup>2</sup> ]
nouzová	26,47	3,13	33,10	2,65
nouzová	27,53	3,13	31,40	2,50
nouzová	32,93	3,12	31,50	2,44
nouzová	32,39	3,07	30,30	2,43
nouzová	28,05	3,05	32,60	2,40
nouzová	31,68	3,02	30,30	2,47
nouzová	33,09	2,99	33,50	2,38
nouzová	27,95	2,88	28,20	2,53
nouzová	31,40	2,80	26,60	2,48
nouzová	42,81	2,80	42,80	2,42
provozní	39,88	2,22	40,70	1,77
provozní	31,99	1,65	38,60	1,44

**Tab 19** Naměřené hodnoty brzdného zpomalení tramvaje

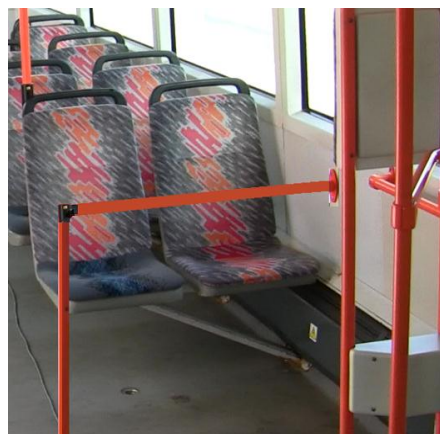


**Graf 4** Grafické znázornění brzdného zpomalení tramvaje s vyznačenými oblastmi velikosti vlivu zpomalení na cestující

- 1 oblast malého vlivu brzdného zpomalení tramvaje na cestující
- 2 bezpečná oblast
- 3 vysoký vliv zpomalení tramvaje na cestující (riziko pádu)



**Obr 25** Sedadla bez madel

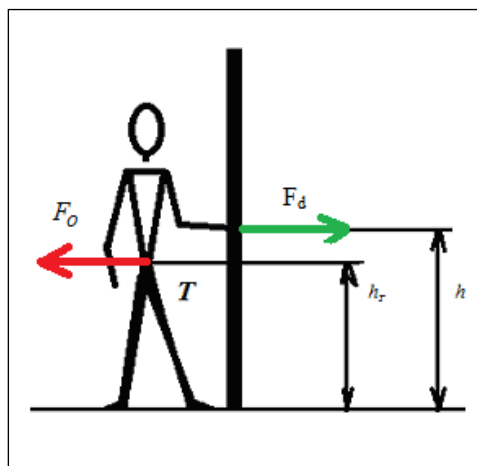


**Obr 26** Návrh - sedadlo s madlem

## 15.3 ROZBOR PŮSOBÍCÍCH SIL NA STOJÍCÍHO CESTUJÍCÍHO

### 15.3.1 Cestující se drží madla ve výšce $h$ ; $h = 1,2 \text{ m}$

- $h$  výška, v níž se cestující drží madla
- $h_T$  výška těžiště (pro cestujícího vysokého 185 cm,  $h_T$  určeno 1,1 m)
- $m$  hmotnost cestujícího (95 kg)
- $a$  brzdné zpomalení tramvaje (uvažováno  $3,13 \text{ m/s}^2$ )
- $F_d$  síla, kterou se cestující drží
- $F_O$  odstředivá síla



Obr 26 Cestující se drží madla ve výšce  $h = 1,2 \text{ m}$

Vztah pro silovou rovnováhu

$$\sum F_x = 0$$

$$F_d - F_O = 0 \rightarrow F_d = F_O$$

Vztah pro momentovou rovnováhu

$$\sum M_x = 0$$

$$F_d \cdot h - F_O \cdot h_T = 0$$

Výpočet síly, kterou se musí stojící cestující držet, aby udržel stabilitu

$$F_O = m \cdot a$$

$$F_O = 95 \cdot 3,13$$

$$\underline{F_O = 297,35 \text{ N}}$$

$$F_d \cdot h = F_O \cdot h_T$$

$$F_d = \frac{F_O \cdot h_T}{h}$$

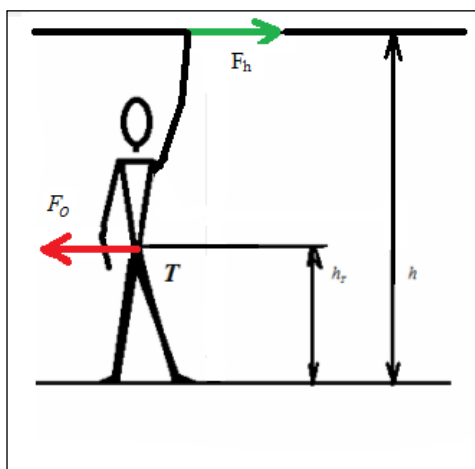
$$F_d = \frac{297,35 \cdot 1,1}{1,2}$$

$$\underline{\underline{F_d = 272,57 \text{ N}}}$$

Minimální síla, kterou se musí výše charakterizovaný cestující držet, aby udržel stabilitu při uvedeném zpomalení, je 272,57 N.

### 15.3.2 Cestující se drží madla ve výšce $h$ ; $h = 2\text{ m}$

- $h_h$  výška, v níž se cestující drží madla
- $h_T$  výška těžiště (pro cestujícího vysokého 185 cm,  $h_T$  určeno 1,1 m)
- $m$  hmotnost cestujícího (95 kg)
- $a$  brzdné zpomalení tramvaje (uvažováno  $3,13\text{ m/s}^2$ )
- $F_h$  síla, kterou se cestující drží
- $F_O$  odstředivá síla



**Obr 27** Cestující se drží madla ve výšce  $h = 2\text{ m}$

Vztah pro silovou rovnováhu

$$\sum F_x = 0$$

$$F_h - F_O = 0 \rightarrow F_h = F_O$$

Vztah pro momentovou rovnováhu

$$\sum M_x = 0$$

$$F_h \cdot h_h - F_O \cdot h_T = 0$$

Výpočet síly, kterou se musí stojící cestující držet, aby udržel stabilitu

$$F_O = m \cdot a$$

$$F_O = 95 \cdot 3,13$$

$$\underline{F_O = 297,35\text{ N}}$$

$$F_h \cdot h_h = F_O \cdot h_T$$

$$F_h = \frac{F_O \cdot h_T}{h_h}$$

$$F_d = \frac{297,35 \cdot 1,1}{2}$$

$$\underline{\underline{F_d = 163,54\text{ N}}}$$

Minimální síla, kterou se musí výše charakterizovaný cestující držet, aby udržel stabilitu při uvedeném zpomalení, je 163,54 N.

Zdroj matematického aparátu [32] [49]

## 16 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo určení mezního zpomalení tramvaje, při němž stojící cestující udrží stabilitu. Teoretická část práce se zabývá popisem kolejové dopravy se specializací na brzdový systém. Detailně jsou popsány jednotlivé druhy brzd, které se v tramvaji uplatňují.

Praktické měření brzdného zpomalení tramvaje bylo realizováno s figuranty dne 3.4.2012 v Brně, ve vozovně Pisárky za asistence zaměstnanců DPMB. Dopravní podnik města Brna vyčlenil pro tuto brzdnou zkoušku tramvaj typu ŠKODA 03T (ANITRA). Při zkouškách brzdného zpomalení byly uplatňovány v provozu dvě nejčastěji používané brzdy, brzda provozní a brzda nouzová. Měření bylo provedeno s použitím dvou měřicích metod, metody vlečného kola a za použití decelerometru.

Při měření proběhlo celkem dvanáct cyklů brzdných zkoušek, přičemž u všech byly natočeny videozáznamy, které zachycují chování sedících i stojících cestujících při použití odlišných brzd řidičem. Výběr videozáznamů se nachází v příloze 11 na DVD. Součástí příloh je též obrázková dokumentace, zachycující sekvence pohybu cestujících při daných zpomaleních tramvaje. Přínosem bylo zainteresování dětského kočárku. Z videosekvencí uvedených v příloze 2 je patrné převrhnutí kočárku při jeho nesprávném postavení za jízdy vozidla. Již zmíněné videozáznamy budou do budoucna sloužit jako podpora bezpečného cestování tramvají.

Mezní zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu, jsem stanovila na základě naměřených hodnot a pozorovaných situací na  $3,12\text{m/s}^2$ . Konstatuji tak na základě pohybu figurantů při brzdění. Figuranti, kteří se účastnili měření, dosahovali věku 25 – 50 let. Pro vyšší věkové kategorie bude mezní zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu nižší. Vyšší věkové kategorie cestujících jsem v praktickém měření neuplatnila, abych neriskovala případná zranění.

Proto, abych získala alespoň názor starších občanů na cestování tramvají, vytvořila jsem anketu na téma bezpečnost v tramvaji. Oslovila jsem přitom tři věkové kategorie občanů města Brna. Každou věkovou kategorii jsem obsadila jedním stem respondentů. Nejvíce mě zajímaly názory věkové kategorie nad 60 let. Jak jsem předpokládala, jsou to právě senioři, kteří se v tramvaji cítí mnohem méně bezpečně než cestující mladšího věku.

Dále mě při zpracování diplomové práce zajímalo, jakou sílu je nutné vyvinout při držení se madla za jízdy vozidla, aby cestující udržel stabilitu. Pro výpočet požadované



síly jsem využila matematického aparátu silové a momentové rovnováhy. Cestující o hmotnosti 95 kg a výšce 185 cm, držící se madla ve výšce 1,2 m nad zemí, musí vyvinout při zpomalení sílu 272,57 N, aby udržel stabilitu. Tentýž cestující držící se madla ve výšce 2 m nad zemí musí vyvinout minimální sílu 163,54 N, aby udržel stabilitu. Ve své práci jsem se zaměřila také na vliv brzdného zpomalení na sedící cestující. Právě i pro ně může vysoká hodnota brzdného zpomalení znamenat pád a následně zranění. Diplomová práce, konkrétně měření brzdných zpomalení a jejich vliv na cestující, odhalilo místa v tramvaji, která by dle mého názoru bylo vhodné opatřit prvky aktivní bezpečnosti. Pokusila jsem se o návrh alternativy aktivní bezpečnosti přidáním madla před sedadla nacházející se za prostorem pro kočárek (viz str. 54 obr. 26). Oblasti brzdného zpomalení tramvaje, zejména prvkům aktivní bezpečnosti se chci zabývat i do budoucna.

## 17 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ANTONICKÝ, S. a kol., *Základy koľajovej dopravy*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1987, 119 s.
- [2] BUTSCHEK, A. a kol. *100 let elektrické pouliční dráhy v Brně 1900–2000*. Ústí nad Labem : WOLF & Tramvajklub Brno, 2000.
- [3] DANZER, J. *Elektrická trakce: Přehled problematiky*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009. ISBN 978-80-7043-769-8.
- [4] FOJTÍK, P., JÍLKOVÁ M., PROŠEK F. *Sto let ve službách města*. 1. vyd. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 1997. ISBN 80-238-0890-7.
- [5] HABARDA, D. *Mestská hromadná doprava: vysokoškolská učebnica pre Vysokú školu dopravy a spojov*. 2. preprac. vyd. Bratislava: Alfa, 1988, 438 s.
- [6] HELLER, P., DOSTÁL J. *Kolejová vozidla II*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-641-7.
- [7] JANSÁ, F. *Vozidla elektrické trakce: elektrická zařízení kolejových hnacích vozidel*. 2 vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1987.
- [8] KAMENICKÝ, J. *Perspektivy moderních tramvají: Bezztrátová regulace rozjezdu a brzdění kolejových vozidel hromadné dopravy*. Praha, 1977.
- [9] KLAPKA, J. a kol. *80 let elektrické dráhy v Brně - 50 let autobusové dopravy v Brně*. Brno: Dopravní podnik města Brna & Technické muzeum v Brně, 1980.
- [10] KUBÁT, B., PENC M. *Městská kolejová doprava*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2000, 121 s. ISBN 80-01-02117-3.
- [11] LACEK, M. *Organizace a řízení provozu*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990, 115 s.
- [12] LATA, M. *Konstrukce kolejových vozidel II*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, 208 s. ISBN 80-7194-696-6.
- [13] LINERT, S. *Vozidla pražské tramvajové dopravy*. 1. vyd. Praha: Dopravní podnik hlavního města Prahy, 1996. ISBN 80-85884-58-5.
- [14] LOSOS, L. *Atlas tramvají*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1981.

- [15] NESIBA Zdeněk. *100 let elektrické pouliční dráhy v Brně: 1990 - 2000*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Dopravní vydavatelství Wolf, 2000.
- [16] MACHEK, V., SODOMKA J. *Speciální kovové materiály*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 118 s. ISBN 978-80-01-04212-0.
- [17] MORÁVEK, J. a kol. *120 let městské hromadné dopravy v Brně*. Brno: Dopravní podnik města Brna, 1989.
- [18] MOTYKA, V. *Návod na obsluhu: Částečně nízkopodlažní tramvaje typu K3R-N*. Šumperk, 2004.
- [19] NEJEPSA, R., ŠÍBA, J. *Kolejová vozidla II*, 1. část -, skriptá ČVUT Praha fakulta strojní 1986
- [20] NOVÁK, V., WOLF V. *Velká kniha o tramvajích a trolejbusích v Jihlavě*. 1. vyd. Ústí nad Labem, 1998.
- [21] PANÁČEK, V. *Metodika zkoušení brzd tramvaje*. Brno, 2011. Závěrečná práce. VUT v Brně, ÚSI.
- [22] POHL, R., NOVOTNÝ C., HEJZLAR L. *Železniční vozidla III: Příklady řešení a užití*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2005.
- [23] SUSKE, A. *Zjišťování jízdních vlastností kolejových vozidel*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1980.
- [24] ŠKAPA, P. *Bezpečnost a zkoušení vozidel*. vyd.1. Ostrava : Vysoká škola Báňská, Technická univerzita, 2005. 125 s. ISBN 80-248-0757-2.
- [25] ŠVEJNOCH, V. a kol. *Teorie kolejových vozidel*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1991, 251 s.
- [26] VANDAS, J. *Učebnice řidiče tramvaje a trolejbusu*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1969.
- [27] VÉMOLA, A. *Metodika ohledání při nehodách tramvají*. 1987. Ěrečná práce postgraduálního studia technického znalectví specialiace " Silniční nehody, opravárenst. Vedoucí práce Doc. Ing. Albert Bradáč, CSc.
- [28] ZELENÝ, L. *Osobní přeprava*. Praha: ASPI a.s., 2007. ISBN 978-80-7357-266-2.
- [29] ČSN EN 13452-1. *Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu: Část 1: Požadavky na provedení*. Praha: Český normalizační institut, 2004

- [30] ČSN EN 13452-2. *Železniční aplikace - Brzdění - Brzdové systémy pro hromadnou dopravu: Část 2: Zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [31] Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 175/2000 Sb. ze dne 15. června 2000, o přepravním řádu pro veřejnou drážní a silniční osobní dopravu
- [32] Dynamika kolejových vozidel a železničních tratí : [sborník přednášek z] konf. společ. dopravy a spojů ČSVTS, Praha 1986. Praha : Dům techniky ČSVTS, 1986. 245 s.
- [33] Interní materiály DPMB, a.s., Funkční popis tramvaje LTM 10.08.01
- [34] Interní materiály DPMB, a.s., Kotoučová brzda
- [35] Interní materiály DPMB, a.s., Kolejnicová brzda
- [36] Interní materiály DPMB, a.s., Návod k obsluze tramvaje 13T
- [37] Interní materiály DPMB, a.s., Návod na obsluhu částečně nízkopodlažní tramvaje typu K3R-N
- [38] Interní materiály DPMB, a.s., Parametry tramvají
- [39] Interní materiály DPMB, a.s., Trakční podvozek
- [40] Interní materiály DPMB, a.s., Vozový park
- [41] Brzda v kolejových vozidlech. [online]. 2010 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~pheller/ZSDM/Brzda%20v%20KV.pdf>
- [42] Handy media. [online]. 2010 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: <http://www.handymedia.cz/cojsou.php?lg=cz>
- [43] Informační časopis skupiny Škoda. [online]. 2012 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: [http://www.skoda.cz/firemni-magazin/soubory/20120131\\_skoda.pdf](http://www.skoda.cz/firemni-magazin/soubory/20120131_skoda.pdf)
- [44] Metro. [online]. 2010 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: [http://www.metro.cz/Ankety.aspx?idanketa=A20120307\\_jbs\\_479](http://www.metro.cz/Ankety.aspx?idanketa=A20120307_jbs_479)
- [45] MHDCR. [online]. 2009 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: <http://www.mhdcr.biz/tram/tramvaj,typy-novostavby.htm>
- [46] Nízkopodlažní tramvaje Škoda. [online]. 2009 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: <http://spz.logout.cz/mhd/portland.html>

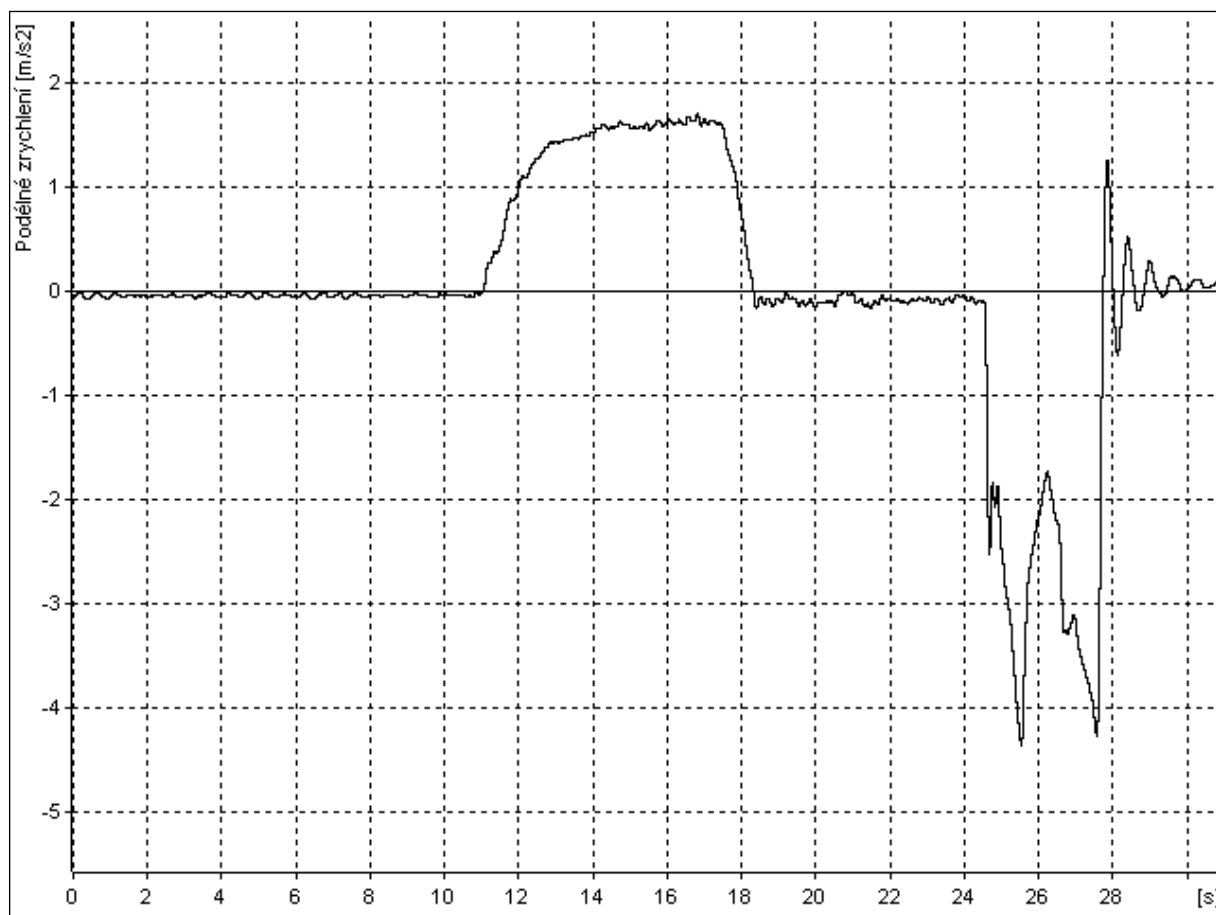
- [47] Novinky. [online]. 2009 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: <http://www.novinky.cz/krimi/244988-ridic-tramvaje-zrejme-nedobrzdil-a-pri-srazce-zemrel-ve-voze-nebyli-cestujici.html>
- [48] Technika pražských tramvají. [online]. 2010 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: [http://shell.sh.cvut.cz/~oskar/stah/technika\\_tramvaji\\_darkblue.pdf](http://shell.sh.cvut.cz/~oskar/stah/technika_tramvaji_darkblue.pdf)
- [49] Základní pojmy a základy rovnováhy sil. [online]. 2011 [cit. 2012-05-19].  
Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/mechanika/M\\_04.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/mechanika/M_04.pdf)

## 18 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití nouzové brzdy – mezní hodnota zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu
- Příloha 2 Videosekvence při použití nouzové brzdy - mezní hodnota zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu (pád kočárku)
- Příloha 3 Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití provozní brzdy - mezní hodnota zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu
- Příloha 4 Videosekvence při použití provozní brzdy - mezní zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu
- Příloha 5 Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití nouzové brzdy – bezpečné umístění kočárku
- Příloha 6 Videosekvence při použití nouzové brzdy – bezpečné umístění kočárku
- Příloha 7 Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití nouzové brzdy – zadní sedadla bez madel (pád sedícího cestujícího)
- Příloha 8 Videosekvence při použití nouzové brzdy – zadní sedadla bez madel (pád sedícího cestujícího)
- Příloha 9 Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití provozní brzdy – zadní sedadla bez madel (stabilita sedícího cestujícího)
- Příloha 10 Videosekvence při použití provozní brzdy – zadní sedadla bez madel (stabilita sedícího cestujícího)
- Příloha 11 DVD – výběr videozáznamů, záznamy z 5. kola.

## Příloha 1

Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití nouzové brzdy – mezní hodnota zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu



Výchozí rychlost      26,47 [km/h]

Brzdné zpomalení    3,13 [m/s<sup>2</sup>]

## Příloha 2

Videosekvence při použití nouzové brzdy - mezní hodnota zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu (pád kočárku)

1.



2.



3.



4.



5.



6.



7.



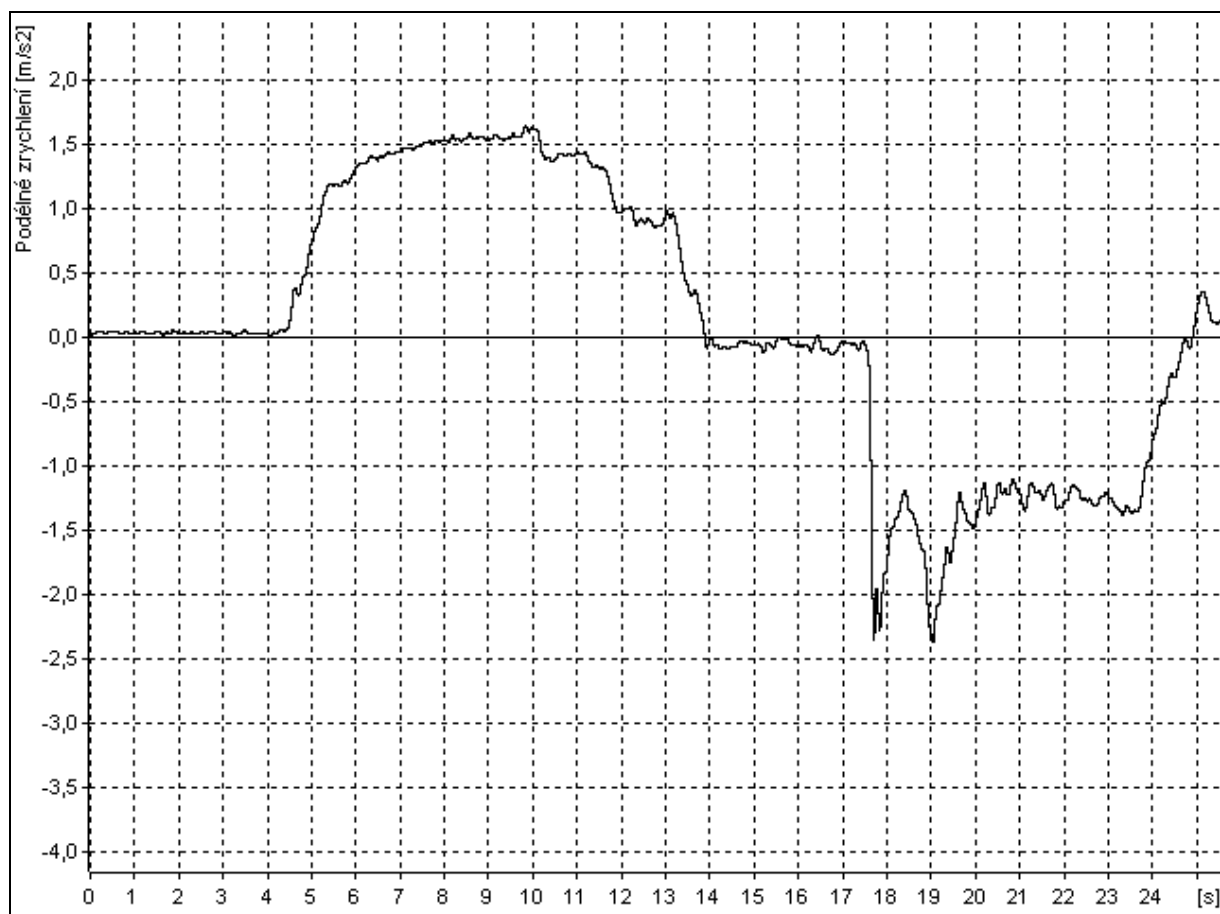
8.





### Příloha 3

Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití provozní brzdy – mezní hodnota zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu



Výchozí rychlost      31,99 [km/h]

Brzdné zpomalení      1,65 [m/s<sup>2</sup>]

## Příloha 4

**Videosekvence při použití provozní brzdy - mezní zpomalení, kdy stojící cestující udrží stabilitu**

1.



2.



3.



4.



5.



6.



7.

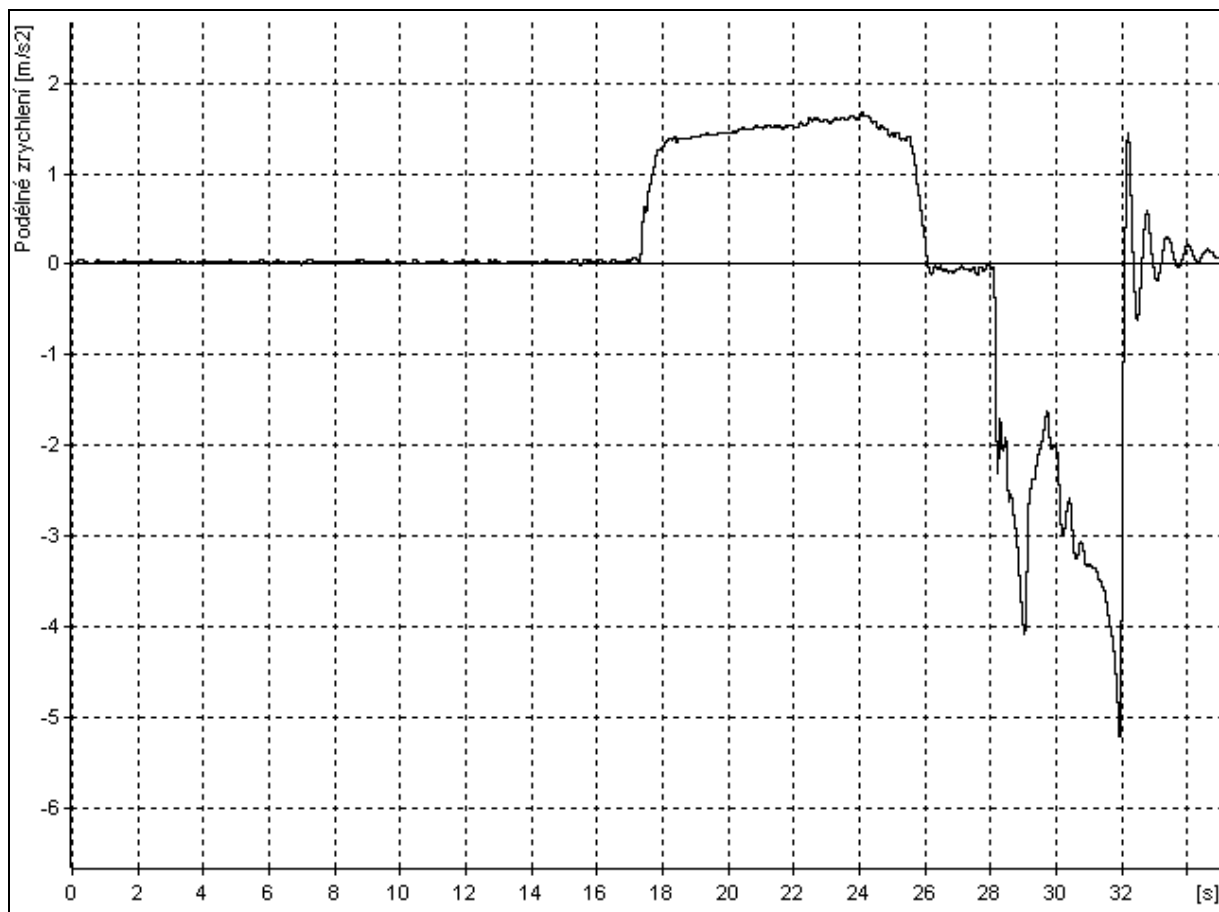


8.



## Příloha 5

Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití nouzové brzdy – bezpečné umístění kočárku



Výchozí rychlost 42,81[km/h]

Brzdné zpomalení 2,80 [m/s<sup>2</sup>]

## Příloha 6

### Videosekvence při použití nouzové brzdy – bezpečné umístění kočárku

1.



2.



3.



4.

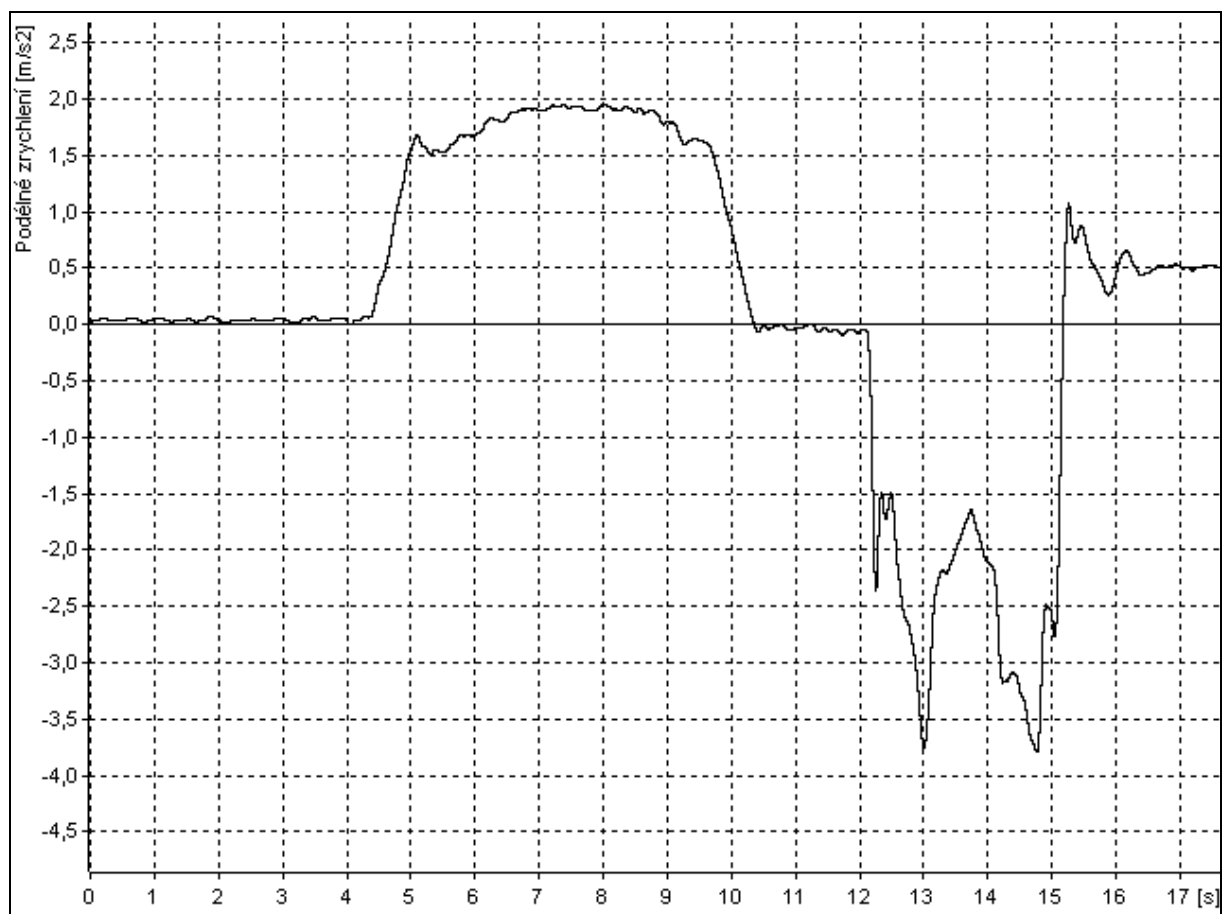


5.

6.

## Příloha 7

Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití nouzové brzdy – zadní sedadla bez madel (pád sedícího cestujícího)



Výchozí rychlost      32,39 [km/h]

Brzdné zpomalení    3,07 [m/s<sup>2</sup>]

## Příloha 8

### Videosekvence při použití nouzové brzdy – zadní sedadla bez model (pád sedícího cestujícího)

1.



2.



3.



4.



5.



6.



7.



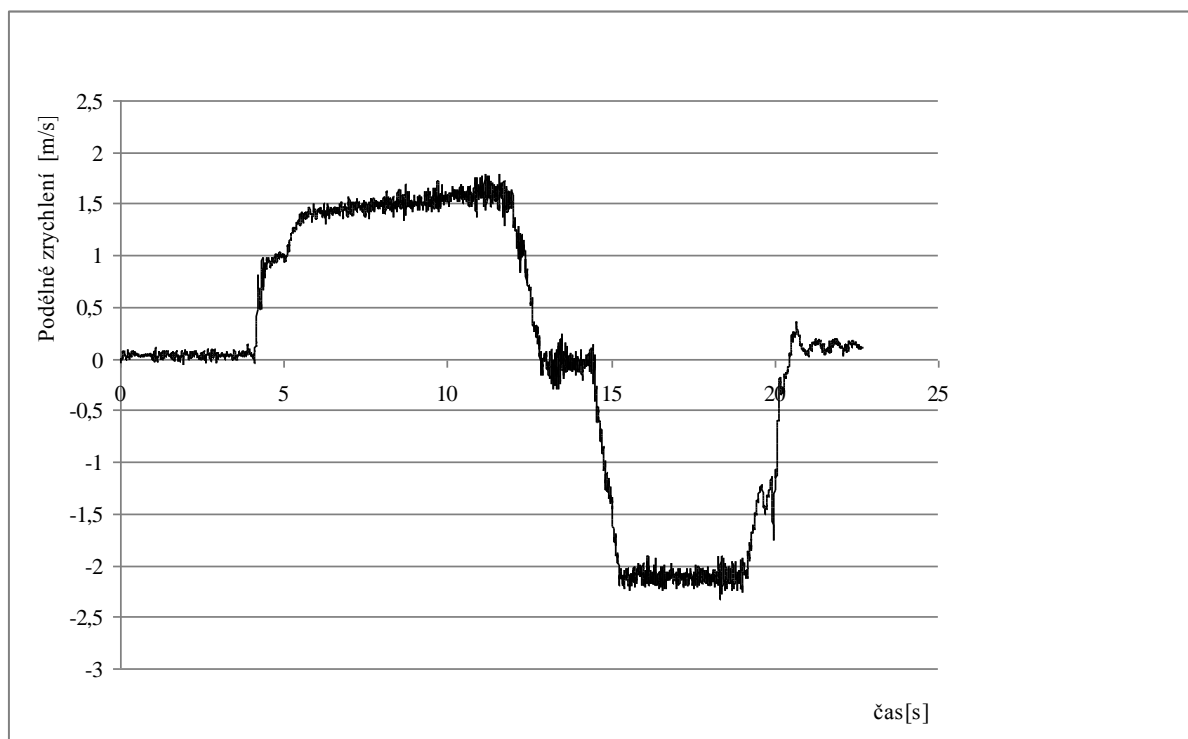
8.





## Příloha 9

Grafické znázornění z měření decelerometrem při použití provozní brzdy – zadní sedadla bez madel (stabilita sedícího cestujícího)



Výchozí rychlost      39,88 [km/h]

Brzdné zpomalení      2,22 [m/s<sup>2</sup>]

## Příloha 10

**Videosekvence při použití provozní brzdy – zadní sedadla bez madel (stabilita sedícího cestujícího)**

1.



2.



3.



4.

